



TUGAS AKHIR - SF 141501

**IDENTIFIKASI STRUKTUR LAPISAN BAWAH
PERMUKAAN DAERAH POTENSI MINERAL DENGAN
MENGUNAKAN METODE GRAVITASI DI LAPANGAN
“A”, PONGKOR, JAWA BARAT**

Nurin Wachidah
NRP 1113 100 093

Dosen Pembimbing
Dr. rer. nat. Eko Minarto, S.Si, M.Si

Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - SF 141501

**IDENTIFIKASI STRUKTUR LAPISAN BAWAH
PERMUKAAN DAERAH POTENSI MINERAL DENGAN
MENGUNAKAN METODE GRAVITASI DI
LAPANGAN “A”, PONGKOR, JAWA BARAT**

Nurin Wachidah
NRP 1113 100 093

Dosen Pembimbing
Dr. rer. nat. Eko Minarto, S.Si, M.Si

Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - SF 141501

**IDENTIFICATION OF SUBSURFACE STRUCTURE OF
MINERAL POTENTIAL ZONE BY USING GRAVITY
METHOD IN “A” FIELD, PONGKOR, WEST JAVA**

Nurin Wachidah
NRP 1113 100 093

Advisor
Dr. rer. nat. Eko Minarto, S.Si, M.Si

Department of Physics
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

**IDENTIFIKASI STRUKTUR LAPISAN BAWAH
PERMUKAAN DAERAH POTENSI MINERAL DENGAN
MENGUNAKAN METODE GRAVITASI DI LAPANGAN
“A”, PONGKOR, JAWA BARAT**


TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Studi Geofisika
Program Studi S-1 Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
NURIN WACHIDAH
NRP. 1113100093

Disetujui oleh pembimbing Tugas Akhir

Dosen Pembimbing
Dr.rer.nat Eko Minarto, S.Si, M.Si
NIP. 19750205 199903 1 004


(.....)



IDENTIFIKASI STRUKTUR LAPISAN BAWAH PERMUKAAN DAERAH POTENSI MINERAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE GRAVITASI DI LAPANGAN “A”, PONGKOR, JAWA BARAT.

Nama : Nurin Wachidah
NRP : 1113100093
Jurusan : Fisika, FMIPA-ITS
Pembimbing : Dr. rer. nat. Eko Minarto, S.Si, M.Si

Abstrak

Indonesia memiliki banyak potensi tambang mineral sehingga memerlukan survey dan analisis agar dapat memanfaatkan potensi tersebut. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan metode geofisika. Oleh karena dilakukan penelitian menggunakan metode gravitasi di daerah Pongkor, Jawa Barat. Pengambilan data gravitasi dilakukan pada 23 Maret hingga 27 Mei Juli 2013 menggunakan alat gravitimeter SCINTREX AUTOGRAV CG-5 dengan 193 titik pengukuran. Anomali Bouguer Lengkap di topografi direduksi ke bidang datar menggunakan metode Dampney. Kemudian dilakukan pemisahan anomali regional dan residual dengan menggunakan metode kontinuitas ke atas pada ketinggian 300 meter. Pemodelan 2,5D dilakukan pada data anomali residual berdasarkan informasi geologi dan analisa struktur dengan menggunakan *FHD (First Horizontal Derivative)* dan *SVD (Second Vertical Derivative)* untuk menentukan batas struktur geologi. Hasil pemodelan menunjukkan potensi mineralisasi dengan tipe pengendapan epitermal sulfidasi rendah. Berdasarkan hasil tersebut terdapat 5 lapisan penyusun daerah penelitian yang terdiri dari breksi tuf ($2,55 \text{ gr/cm}^3$), tuf lapili ($2,40 \text{ gr/cm}^3$), tuf ($2,30 \text{ gr/cm}^3$), dan breksi dasit ($2,65 \text{ gr/cm}^3$), juga terdapat intrusi berupa andesit ($2,85 \text{ gr/cm}^3$).

Kata kunci : *gravitasi, FHD, SVD*

IDENTIFICATION OF SUBSURFACE STRUCTURE OF MINERAL POTENTIAL ZONE BY USING GRAVITY METHOD IN “A” FIELD, PONGKOR, WEST JAVA

Name : Nurin Wachidah
NRP : 1113100093
Major : Physics, FMIPA-ITS
Advisor : Dr. rer. nat. Eko Minarto, S.Si, M.Si

Abstrak

Indonesia has a lot of mineral potential so it needs survey and analysis in order to exploit that potential. A method which can be used to this is gravity method. Therefore gravity method research has been held in Pongkor, West Java. Data acquisition had been conducted at March, 23rd – May, 27th 2013 using SCINTREX AUTOGRAV CG-5. Complete Bouguer Anomaly in topography was reduced to plane using method by Dampney. Then the data was filtered using upward continuation in 300 meters to separate regional and residual anomalies. 2,5D models were made from residual anomaly will be correlated with geological information and structural analysis with FHD (First Horizontal Derivative) and SVD (Second Vertical Derivative) analysis to estimate fault interface. The results show potential for mineralization in typical lowsulphidation epithermal deposit. There were five rock layers in this area, these rocks are tuff breccia (2.55 gr/cm³), lapilli tuff (2.40 gr/cm³), tuff (2.30 gr/cm³), and dacite breccia (2.65 gr/cm³), and there was intrusion of andesite (2.85gr/cm³).

Keywords : *gravity, FHD, SVD*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, rasa syukur tiada terkira dari penulis atas selesainya laporan tugas akhir ini. Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, penulis panjatkan puja dan puji syukur atas kehadiran-Nya, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul:

“Identifikasi Struktur Lapisan Bawah Permukaan Daerah Potensi Mineral Dengan Menggunakan Metode Gravitasi di Lapangan “A”, Pongkor, Jawa Barat”.

Penyusunan tugas akhir ini tentunya tidak lepas dari bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak sehingga memperlancar dalam penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta serta adik tersayang, yang telah memberikan segala yang terbaik bagi penulis, baik doa, dukungan moril dan materiil, serta pengertian yang tak pernah putus kepada penulis.
2. Bapak Dr. rer. nat. Eko Minarto selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan, wawasan dan dukungan.
3. Bapak Dr. rer. nat. Bagus Jaya Santosa selaku dosen penguji tugas akhir atas kritik, saran serta penilaian yang telah diberikan.
4. Bapak Heru Sukamto, M.Si selaku dosen penguji tugas akhir atas kritik, saran serta penilaian yang telah diberikan.
5. Bapak Dr. Yono Hadi P, M.Eng selaku Ketua Departemen Fisika ITS yang telah memberikan kemudahan sarana bagi penulis.
6. Bapak Dr. rer. nat. Triwikantoro, M.Sc sebagai dosen wali yang memberikan arahan membangun.

7. PT. ANTAM (Persero) Tbk. atas izinnya dan kesempatan yang diberikan untuk melakukan pengolahan data gravitasi.
8. Bapak Agus Pajrin Jaman, Bapak Ganjar Sulastomo, Bapak Satriya atas bimbingan dan arahan yang diberikan serta seluruh staff lainnya di kantor atas keramahan dan ilmu pengalaman yang diberikan.
9. Seluruh Dosen dan Karyawan serta seluruh Civitas Akademika Departemen Fisika ITS atas kebersamaan, ilmu dan dedikasinya selama ini.
10. Mbak Gigi yang selalu bersedia direpotkan oleh pertanyaan-pertanyaan serta dukungan yang diberikan. Mbak Kiki dan Zi yang telah memberikan dukungan untuk penulis.
11. Saudara tersayang di U64 Befie, Ni'ma, Adha, Mandah, Lita, Ira, Gita, Rifka, Tia yang memberikan semangat kebersamaan dan dukungan tulus yang telah diberikan selama ini.
12. Anggota Fandom Wafa, Adhis, Novi, Eka, Afidah serta Befie yang telah memberikan suntikan semangat tiada terkira kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
13. Keluarga Fisika ITS 2013 yang telah menjadi angkatan terbaik dan keluarga penulis selama di Fisika ITS, betapapun jauh atau dekat, kami akan selalu terhubung.
14. Segenap keluarga besar Kopma dr. Angka ITS terlebih Hana, Enis, Adha, Rika, Winny, Sofi, Bayu, Ardhi, Fajar, Fikri, Agung yang telah memberikan arti tentang kekeluargaan dan tulus dalam melakukan sesuatu.
15. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas dukungan dan bantuannya.

Penulis menyadari dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat kesalahan. Mohon kritik dan saran pembaca guna menyempurnakan laporan ini. Semoga semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak serta menjad kontribusi di bidang geofisika. Akhir kata, semoga karya ini bermanfaat dan dapat memberikan inspirasi bagi siapapun yang membacanya. Aamiin, Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Surabaya, Juli 2017

Nurin Wachidah

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
COVER PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan Laporan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Prinsip Dasar Gravitasi	5
2.2 Medan Potensial Gravitasi	8
2.3 Konsep Ekuivalen Sratum	9
2.4 Reduksi Data Gravitasi	10
2.4.1 Koreksi Tinggi Alat	11
2.4.2 Koreksi Pasang Surut Bumi	11
2.4.3 Koreksi Drift	12
2.4.4 Nilai Medan Gravitasi Observasi Relatif dan Mutlak	13
2.4.5 Koreksi Lintang	14
2.4.6 Koreksi Udara Bebas	15
2.4.7 Koreksi Bouguer	15
2.4.8 Koreksi Medan	16
2.5 Reduksi Bidang Datar	18
2.6 Kontinuasi ke Atas	19

2.7 Pemisahan Anomali Regional dan Residual	20
2.8 Analisis <i>First Horizontal Derivative</i> (FHD)	21
2.9 Analisis <i>Second Vertical Derivative</i> (SVD)	22
2.10 Pemodelan Gravitasi	24
2.10.1 Forward Modelling	25
2.10.2 Inverse Modelling	26
2.11 Geologi Regional	28
2.11.1 Fisiografi	28
2.11.2 Geomorfologi	29
2.11.3 Stratigrafi Regional	30
2.11.4 Struktur Geologi Regional	36
2.11.5 Alterasi dan Mineralisasi Daerah Penelitian	37

BAB III METODOLOGI 41

3.1 Skema Kerja	41
3.2 Data Penelitian	42
3.3 Perhitungan Anomali Bouguer Lengkap	42
3.4 Reduksi Bidang Datar	43
3.5 Pemisahan Anomali Regional dan Residual	43
3.6 Pemisahan Anomali Regional dan Residual	44
3.7 Analisis Struktur	45
3.8 Pemodelan	45

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 47

4.1 Topografi Daerah Penelitian	47
4.2 Medan Gravitasi Observasi	48
4.3 Medan Gravitasi Normal	49
4.4 Anomali Udara Bebas	51
4.5 Penentuan Densitas Rata-rata	52
4.6 Anomali Bouguer Sederhana	53
4.7 Anomali Bouguer Lengkap	54
4.8 Anomali Bouguer Lengkap di Bidang Datar	55
4.9 Kontinuasi ke Atas	57
4.10 Pemisahan Anomali Gravitasi Regional dengan Residual	58
4.11 Analisa Derivatif	5

4.12	Pemodelan 2,5 D	62
4.13	Analisis Potensi Mineral Emas Daerah Penelitian	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		69
5.1	Kesimpulan	69
5.2	Saran	69
DAFTAR PUSTAKA		71
LAMPIRAN A		75
LAMPIRAN B		84
LAMPIRAN C		85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gaya yang bekerja pada benda <i>m</i> akibat adanya benda <i>m₀</i> yang terpisah sejauh $ \vec{r} - \vec{r}_0 $	5
Gambar 2.2 Medan potensial di titik P dari benda bervolume <i>V</i>	7
Gambar 2.3 Hammer chart	18
Gambar 2.4 Nilai gradient horizontal pada model tabular	22
Gambar 2.5 Alur pemodelan ke depan	26
Gambar 2.6 Alur pemodelan inversi	27
Gambar 2.7 Fisiografi Jawa Barat	29
Gambar 2.8 Peta topografi dan lokasi daerah Pongkor	30
Gambar 2.9 Peta Geologi Regional daerah Gunung Pongkor dan sekitarnya	31
Gambar 2.10 Korelasi stratigrafi daerah Gunung Pongkor dengan daerah Banten Selatan	35
Gambar 2.11 Pola umum struktur di Jawa Barat.....	36
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	39
Gambar 4.1 Peta elevasi daerah penelitian.....	46
Gambar 4.2 Peta persebaran nilai medan gravitasi observasi ...	47
Gambar 4.3 Peta persebaran nilai medan gravitasi normal	49
Gambar 4.4 Peta persebaran anomali udara bebas	50
Gambar 4.5 Grafik hasil perhitungan nilai densitas rata-rata....	51
Gambar 4.6 Peta persebaran anomali Bouguer sederhana	52
Gambar 4.7 Peta persebaran anomali Bouguer lengkap di topografi	53
Gambar 4.8 Peta persebaran anomali Bouguer lengkap di bidang datar.....	54
Gambar 4.9 Peta persebaran anomali medan gravitasi regional	55
Gambar 4.10 Peta persebaran anomali medan gravitasi residual	57
Gambar 4.11 Peta <i>first horizontal derivative</i>	58
Gambar 4.12 Peta <i>second vertical derivative</i>	60
Gambar 4.13 Peta sayatan daerah pemodelan	62
Gambar 4.14 Hasil pemodelan sayatan A – A'	64

Gambar 4.15 Hasil pemodelan sayatan B – B'	65
Gambar 4.16 Hasil pemodelan sayatan C – C'	66

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	75
LAMPIRAN B	84
LAMPIRAN C	85

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perekonomian yang tidak stabil membuat banyak masyarakat mencari cara untuk menginvestasikan kekayaan yang dimiliki. Salah satu langkah yang ditempuh adalah menginvestasikan dalam bentuk emas. Hal ini dilakukan karena investasi dalam bentuk emas memiliki keuntungan karena nilai investasi yang cukup stabil. Sehingga hal ini tidak akan terpengaruh apabila kurs mata uang dollar yang merupakan acuan sebagai mata uang di Indonesia mengalami penurunan atau kenaikan. Adapun beberapa keuntungan lain adalah investasi dalam bentuk emas akan terhindar dari inflasi dan deflasi dibandingkan investasi dengan menggunakan mata uang atau saham. Hal ini berbanding lurus dengan kondisi Indonesia yang memiliki banyak potensi tambang emas. Sehingga banyak industri tambang mineral yang melakukan eksplorasi dan eksploitasi terhadap emas di wilayah Indonesia.

Menurut Charlie dan Mitchell (1994) mineralisasi emas di Indonesia terbentuk di busur andesitik yang aktif pada rentang waktu 20 – 3 juta tahun yang lalu. Adapun daerah prospek utama penghasil emas adalah busur gunung api dengan jangkauan umur antara pertengahan Tersier hingga Pliosen. Emas porfiri dan emas dari sistem sulfidasi tinggi terbentuk di busur kepulauan maupun benua. Endapan epitermal sulfidasi rendah terbentuk di bagian bawah daerah vulkanik.

Pulau Jawa memiliki beberapa daerah mineralisasi emas yang potensial untuk dieksplorasi. Daerah mineralisasi emas ini membentuk rangkaian antara satu dengan yang lainnya. Lokasi mineralisasi emas yang terdapat di pulau Jawa antara lain Pongkor, Arinem, Jampang, Gunung Subang, Randu Kuning, Tirtomoyo, Cihonje, Tumpang Pitu, Tempursari, Seweden, Prambon dan lain lain. Lokasi – lokasi ini sebagian besar berada di bagian selatan pulau Jawa.

Pertambangan Pongkor terletak di dalam wilayah kecamatan Nanggung, Leuwiliang, Cigudeg Kabupaten Bogor, provinsi Jawa Barat. Pongkor merupakan salah satu kecamatan yang termasuk dalam Wilayah Kerja Pertambangan (WKP) milik PT. Antam Tbk. Di wilayah ini memiliki potensi kandungan endapan emas yang cukup tinggi. Sehingga perlu dilakukan survey dan analisis dalam memanfaatkan potensi tersebut dengan menggunakan metode geofisika.

Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan adalah metode gravitasi. Metode gravitasi merupakan pengukuran terhadap variasi medan gravitasi bumi yang diakibatkan oleh adanya perbedaan densitas yang kemudian dikenal sebagai anomali gravitasi. Medan gravitasi rata – rata di bumi sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$ atau 980.000 mgal. Semua benda yang berada di sekitar bumi akan mempengaruhi hasil pengukuran gravitasi. Termasuk keberadaan struktur geologi maupun intrusi batuan beku yang dapat mempengaruhi nilai medan gravitasi hingga beberapa miligal. Oleh karena itu dibutuhkan suatu metode geofisika dengan ketelitian yang tinggi untuk mengidentifikasi struktur geologi dan batuan intrusif. Metode gravitasi diharapkan dapat mengidentifikasi sesar sebagai pengontrol zona mineralisasi pada daerah prospek emas, juga tubuh intrusi sebagai pemasok larutan hidrotermal, yang kemudian proses analisa *interest zone* dapat diintegrasikan dengan menggunakan metode geofisika lainnya.

1.2 Rumusan Permasalahan

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana hasil analisis struktur bawah permukaan menggunakan *first horizontal derivative (FHD)* dan *second vertical derivative (SVD)* serta korelasinya dengan anomali gravitasi?
2. Bagaimana kondisi struktur geologi di bawah permukaan berdasarkan anomali gravitasi?

1.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang terdapat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data yang digunakan merupakan data gravitasi yang diukur menggunakan *Scintrex Autograv CG-5 Gravimeter* dan data spasial diperoleh dari *GPS Garmin 62s*. Pengukuran dilakukan pada tanggal 23 Maret 2013 hingga 27 Mei 2013.
2. Anomali medan gravitasi melalui proses reduksi ke bidang datar menggunakan metode Dampney (1969).
3. Penapisan anomali Bouguer untuk mendapatkan anomali regional menggunakan metode kontinuitas ke atas (*upward continuation*).
4. Analisis struktur geologi di bawah permukaan pada daerah penelitian menggunakan metode *First Horizontal Derivative (FHD)* dan *Second Vertical Derivative (SVD)*.
5. Pemodelan 2,5D bawah permukaan dilakukan pada data anomali residual.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan yaitu sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi struktur bawah permukaan daerah penelitian dengan analisis anomali residual yang telah dilakukan penapisan menggunakan *upward continuation*.
2. Menentukan batas struktur geologi di bawah permukaan menggunakan analisis struktur *First Horizontal Derivative (FHD)* dan *Second Vertical Derivative (SVD)*.
3. Membuat model bawah permukaan dari daerah penelitian.

1.5 Manfaat penelitian

Adapun manfaat yang akan didapat dari penelitian tugas akhir ini antara lain :

1. Dapat memberikan solusi pada permasalahan ekonomi utamanya dalam mencari daerah prospek mineralisasi emas melalui metode gravitasi.
2. Dapat memberikan pengetahuan mengenai daerah bawah permukaan dengan menggunakan metode gravitasi.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari abstrak yang berisi tentang gambaran umum keseluruhan dari penelitian ini. Bab I merupakan pendahuluan yang memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan terakhir sistematika penulisan. Bab II adalah tinjauan pustaka yang berisi tentang dasar teori yang melandasi penelitian ini serta sebagai acuan dari penelitian ini. Bab III berisi metodologi penelitian. Bab IV berisi hasil penelitian dan pembahasan. Bab V berisi kesimpulan dan saran.

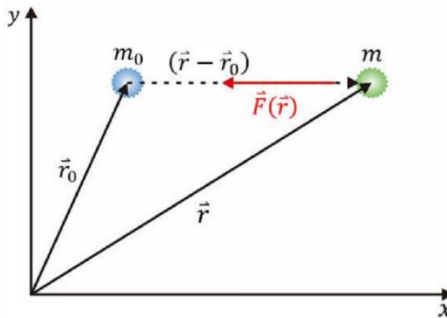
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prinsip Dasar Gravitasi

Prinsip dasar fisika yang mendasari metode gravitasi adalah Hukum Newton tentang gaya tarik menarik. Hukum Newton menyatakan bahwa gaya tarik menarik antara dua partikel dengan massa m_0 dan m yang terpisah sejauh $r - r_0$ dari pusat massanya sebanding dengan perkalian antara massa m_0 dengan m dan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya. Gaya gravitasi tersebut dapat ditulis dalam suatu persamaan sebagai berikut

$$\vec{F}(\vec{r}) = -G \frac{m_0 m}{|\vec{r} - \vec{r}_0|^2} \times \frac{(\vec{r} - \vec{r}_0)}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} \quad (2.1)$$

dengan $F(r)$ adalah gaya yang bekerja pada m oleh karena adanya m_0 dan memiliki arah yang berlawanan dengan arah $|\vec{r} - \vec{r}_0|$ yaitu dari m_0 menuju m . Sedangkan G adalah konstanta medan gravitasi yang besarnya $6,67428 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$ atau $\text{m}^2 \text{ kg}^{-1} \text{ dt}^{-2}$ (Telford, dkk., 1990).



Gambar 2.1 Gaya yang bekerja pada benda m akibat adanya benda m_0 yang terpisah sejauh $|\vec{r} - \vec{r}_0|$

Besaran yang terukur dalam metode gravitasi adalah medan gravitasi. Medan gravitasi dari partikel m_0 adalah besarnya gaya per satuan massa pada suatu titik sejauh $|\vec{r} - \vec{r}_0|$ dari m yang dijabarkan sebagai berikut

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{m(\vec{r})} = -G \frac{m_0}{|\vec{r} - \vec{r}_0|^2} \times \frac{(\vec{r} - \vec{r}_0)}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} \quad (2.2)$$

dengan $\vec{E}(\vec{r})$ adalah medan gravitasi, m_0 adalah massa benda, dan $|\vec{r} - \vec{r}_0|$ adalah jarak dari titik amat ke titik massa. Dengan menganggap bumi homogen, berbentuk sferis dan tidak berotasi, maka besarnya medan gravitasi g di permukaan bumi adalah

$$\vec{g} = \vec{E}(\vec{r}) = -G \frac{M_e}{R_e^2} \hat{r} \quad (2.3)$$

dengan M_e adalah massa bumi (kg) dan R_e adalah jari – jari bumi (meter). Medan gravitasi g biasa disebut juga sebagai percepatan gravitasi yang memiliki satuan (m/s^2) atau dalam cgs dinyatakan dalam gal ($1\ gal = 1cm/s^2$).

Medan gravitasi merupakan medan konservatif, dimana usaha yang dilakukan untuk memindahkan suatu massa dalam medan gravitasi tidak bergantung pada lintasan, tetapi hanya bergantung pada posisi awal dan posisi akhirnya (Telford, dkk., 1990). Maka medan gravitasi dapat diperoleh dari turunan suatu fungsi potensial skalar

$$\vec{g} = \vec{E}(\vec{r}) = -\nabla U(\vec{r}) \quad (2.4)$$

dengan $U(\vec{r})$ adalah potensial gravitasi dari massa m_0 yang dijabarkan sebagai

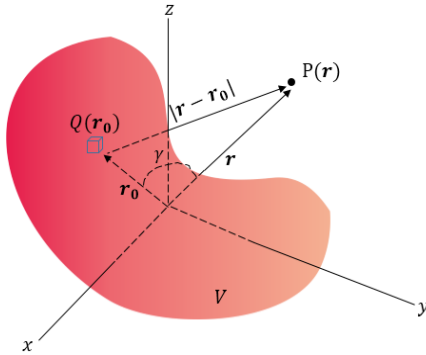
$$U(\vec{r}) = -G \frac{m_0}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} \quad (2.5)$$

Dalam dimensi ruang, potensial gravitasi adalah integral elemen massa suatu materi dengan densitas $\rho(r_0)$ yang kontinu (Gambar 3.2). Jika titik P berada sejauh r dari distribusi massa kontinu maka nilai potensial gravitasi di titik P tersebut adalah

$$U_P(\vec{r}) = - \int_V \frac{G dm_0}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} \quad (2.6a)$$

$$U_P(\vec{r}) = -G \int_V \frac{\rho(\vec{r}_0) d^3 \vec{r}_0}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} \quad (2.6b)$$

dengan $|\vec{r} - \vec{r}_0| = \sqrt{r^2 + r_0^2 - 2r \cdot r_0 \cos \gamma}$, dimana r adalah vektor posisi pengamat dan r_0 adalah vektor posisi elemen massa.



Gambar 2.2 Medan potensial di titik P dari benda bervolume V (Dermawan, 2010)

Apabila integral pada persamaan (2.6) dilakukan pada seluruh bumi, maka yang diperoleh adalah potensial gravitasi pada ruang hampa. Sehingga medan gravitasi g dapat diperoleh dari difensial potensial gravitasi. Nilai g bergantung pada variasi distribusi massa yang dinyatakan dengan $\rho(r_0)$ dari volume bumi

dan bentuk bumi yang sebenarnya dinyatakan sebagai batas integral.

2.2 Medan Potensial Gravitasi

Persamaan potensial gravitasi (3.6) bersifat non-singular, dapat diturunkan ke turunan kedua pada setiap komponen x, y , dan z kemudian dengan menjumlahkan hasilnya dari tiap – tiap komponen tersebut diperoleh

$$\bar{\nabla}^2 U = \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0 \quad (2.7)$$

$$\bar{\nabla}^2 U = 0$$

Persamaan (2.7) merupakan persamaan medan gravitasi untuk ruang hampa yaitu titik di luar volume V yang memenuhi Persamaan Laplace. Sedangkan untuk titik di dalam volume V memiliki potensial gravitasi yang bersifat singular di $r = r_0$, maka singularitas tersebut dilokalisasi menjadi sebuah bola kecil dengan volume v dan jari – jari, sehingga potensial gravitasinya menjadi

$$U(\vec{r}) = -G \int_{V-v} \frac{\rho(\vec{r}_0) d^3 r_0}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} - G \int_v \frac{\rho(\vec{r}_0) d^3 r_0}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} \quad (2.8)$$

suku pertama menjadi non-singular dan suku kedua tetap singular. Kemudian dari persamaan (2.8) dapat diturunkan ke turunan kedua dan diperoleh

$$\bar{\nabla}^2 U(\vec{r}_0) = 0 - \bar{\nabla}^2 \left(G \int_v \frac{\rho(\vec{r}_0) d^3 r_0}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} \right) \quad (2.9)$$

pada suku kedua, bila $\rho(\vec{r}_0)$ dianggap konstan dan volume v menjadi sangat kecil maka diperoleh

$$\bar{\nabla}^2 U(\vec{r}_0) = -G\rho(\vec{r}_0) \int_v \bar{\nabla} \cdot \bar{\nabla} \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} d^3 r_0 \quad (2.10)$$

dengan menggunakan hukum Gauss diperoleh

$$\bar{\nabla}^2 U(\vec{r}_0) = -G\rho(\vec{r}_0) \int_S \vec{n} \cdot \bar{\nabla} \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} d^2 r_0 \quad (2.11)$$

dengan S merupakan luasan bola dengan jari – jari sehingga dari persamaan (2.11) di atas $|\vec{r} - \vec{r}_0| = \varepsilon$ dan $\vec{n} \cdot \bar{\nabla} = \partial/\partial \varepsilon$. Untuk limit $\varepsilon \rightarrow 0$ maka persamaan (2.11) menjadi persamaan potensial gravitasi untuk benda pada sembarang titik di dalam volume V dapat ditulis menjadi

$$\bar{\nabla}^2 U(\vec{r}_0) = -G\rho(\vec{r}_0) \left(\frac{d}{d\varepsilon} \frac{1}{\varepsilon} \right) 4\pi \varepsilon^2 \quad (2.12)$$

$$\bar{\nabla}^2 U(\vec{r}_0) = -4\pi G\rho(\vec{r}_0)$$

persamaan (2.12) merupakan persamaan Poisson.

2.3 Konsep Ekuivalen Stratum

Medan gravitasi g adalah medan potensial dengan arah vertikal yang selalu menuju pusat bumi. Sedangkan arah horizontalnya merupakan arah tegak lurus terhadap g . Medan gravitasi yang disebabkan oleh distribusi benda dengan massa tertentu di bawah permukaan, memiliki arah yang bervariasi terhadap sumbu vertikal. Arah medan gravitasinya bergantung pada kedudukan/posisi pengamat terhadap benda anomali.

Di permukaan bumi, perubahan medan gravitasi dapat diukur melalui pengukuran medan gravitasi g . Benda anomali yang terdapat di bawah permukaan menyebabkan adanya perubahan medan gravitasi yang biasa disebut sebagai anomali medan gravitasi Δg . Nilai anomali gravitasi jauh lebih kecil dari medan gravitasi bumi ($\Delta g \ll g$).

Anomali gravitasi di titik (x,y) dimanapun pada bidang *horizontal* dapat dinyatakan dalam

$$\Delta g(x, y) = 2\pi G \rho(x, y) \quad (2.13)$$

diketahui bahwa anomali $\Delta g(x,y)$ pada bidang $z = 0$ yang disebabkan oleh distribusi massa di bawah bidang $z = 0$ akan bernilai sama bila massa tersebut digantikan dengan densitas permukaan $\rho(x,y)$, model densitas ini disebut sebagai *equivalent stratum* untuk distribusi materi yang tidak diketahui di bawah permukaan.

2.4 Reduksi Data Gravitasi

Anomali medan gravitasi adalah nilai medan gravitasi yang ditimbulkan oleh perbedaan densitas di bawah permukaan bumi. Menurut Arafin dalam Dermawan (2010), anomali gravitasi di topografi atau di posisi (x, y, z) secara matematis diperoleh dari selisih medan gravitasi observasi di topografi dengan medan gravitasi teoritis di topografi. dengan $\Delta g(x, y, z)$ adalah anomali gravitasi di topografi, $g_{obs}(x, y, z)$ adalah medan gravitasi observasi di topografi dan $g_{teoritis}(x, y, z)$ adalah medan gravitasi teoritis di topografi.

Nilai medan gravitasi observasi di topografi diperoleh dari pengukuran menggunakan alat ukur gravitimeter yang telah dikoreksi dengan faktor – faktor yang mempengaruhi nilai pengukuran. Sedangkan nilai medan gravitasi teoritis adalah nilai medan gravitasi di titik tersebut dihitung yang secara teoritis dengan memperhitungkan faktor posisi, elevasi, densitas rata – rata dan topografi. Nilai medan gravitasi teoritis tidak dipengaruhi efek geologi atau penyebab anomali. Data gravitasi obeservasi merupakan data mentah yang belum bisa diinterpretasi. Berikut merupakan faktor-faktor koreksi terhadap data gravitasi.

2.4.1 Koreksi Tinggi Alat

Koreksi tinggi alat dilakukan untuk mengoreksi tinggi dari nilai yang dihasilkan oleh alat pengukuran ke permukaan topografi. Koreksi tinggi alat ini juga dilakukan untuk menyamakan posisi elevasi titik pengukuran dengan posisi elevasi yang diperoleh melalui GPS (*Global Positioning System*).

Adapun perbedaan nilai medan gravitasi untuk setiap 1 meter adalah 0,3085672 mgal. Setiap kenaikan tinggi maka nilai medan gravitasi berkurang sedangkan jika lebih besar maka nilai emdan gravitasi akan bertambah. Nilai medan gravitasi yang terkoreksi alat menjadi

$$g_m(x, y, z) = g_m(x, y, (z - h_{TA})) + 0,3082672h_{TA} \quad (2.14)$$

dengan $g_m(x, y, z)$ adalah nilai medan gravitasi terkoreksi tinggi alat di topografi (mgal), $g_m(x, y, (z - h_{TA}))$ adalah pembacaan gravitasi (mgal) dan h_{TA} adalah tinggi alat (meter).

2.4.2 Koreksi Pasang Surut Bumi

Koreksi ini disebabkan karena pengaruh gaya tarik yang dialami bumi akibat massa bulan dan matahari. Koreksi pasang surut harus diberikan kepada bumi untuk menyeimbangkan ke posisi normalnya. Besarnya koreksi ini bervariasi terhadap lintang, waktu, serta kedudukan benda-benda langit. Secara matematis besar koreksi akibat efek pasang surut (Susilawati, 2005):

$$\begin{aligned} g_{PS}(x, y, z) = & \frac{GM_B r}{D_B^3} (3 \cos^2 \theta - 1) \\ & + \frac{3}{2} \frac{GM_B r^2}{D_B^3} (5 \cos^3 \theta - 3 \cos^2 \theta) \\ & + \frac{GM_M r}{D_M^3} (3 \cos^2 \varphi - 1) \end{aligned} \quad (2.15)$$

dengan r adalah jarak titik pengukuran ke pusat bumi, M_B adalah massa bulan, D_B adalah jarak bulan dari bumi, θ adalah sudut *zenith*

dari bulan. M_M adalah massa matahari, D_M adalah jarak matahari dari bumi dan φ adalah sudut *zenith* dari matahari. Sudut *zenith* adalah parameter yang bergantung dari posisi lintang dan waktu saat pengukuran (Dermawan, 2010).

Adapun setelah dilakukan koreksi pasang surut maka nilai pengukuran medan gravitasi di titik pengukuran adalah

$$g_{TPS}(x, y, z) = g_m(x, y, z) + g_{PS}(x, y, z) \quad (2.16)$$

dengan $g_{TPS}(x, y, z)$ adalah nilai medan gravitasi terkoreksi pasang surut di topografi (mgal), $g_m(x, y, z)$ adalah nilai medan gravitasi terkoreksi tinggi alat di topografi (mgal) dan $g_{PS}(x, y, z)$ adalah koreksi pasang surut di titik pengukuran.

2.4.3 Koreksi *Drift*

Gravimeter biasanya dirancang dengan sistem keseimbangan pegas dan dilengkapi massa (beban) yang tergantung bebas diujungnya. Karena pegas tidak elastis sempurna, maka sistem pegas tidak kembali ke kedudukan semula. Koreksi alat karena sifat pegas yang tidak kembali ke kedudukan semula disebut juga koreksi apungan (*drift correction*).

Koreksi alat dilakukan untuk mengurangi kesalahan pembacaan dari alat pengukuran gravimeter pada saat pengukuran di suatu tempat. Hal ini dikarenakan adanya *drift* atau penyimpangan pembacaan nilai gravitasi yang disebabkan oleh beberapa faktor misalnya elastisitas pegas pada alat, pengaruh suhu, dan goncangan yang dialami alat saat diambilnya data pengukuran. Sehingga semua alat pengukuran metode gravitasi ini harus cukup peka untuk kepentingan prospeksi geofisika secara komersial sehingga akan mempunyai variasi terhadap waktu. Hal tersebut dikarenakan faktor internal yaitu adanya struktur dalam alat yang berupa sangat halus sehingga perubahan mekanis yang sangat kecil akan berpengaruh terhadap hasil pengukuran (Susilawati, 2005).

Untuk mengatasi kesalahan pembacaan gravimeter pada saat pengukuran nilai gravitasi maka perlu dilakukan sistem pengukuran tertutup (*looping*) pada *base station* dalam satu kali survey. Pada awal pengukuran nilai gravitasi pada *base station* dan pada saat akhir survey dilakukan pengukuran ulang di *base station*. Dari sana dapat dibandingkan antara nilai awal dan nilai akhir. Perbedaan antara nilai awal dan nilai akhir ini disebabkan oleh kesalahan pembacaan gravimeter maka koreksi terhadap alat harus dilakukan. Secara matematis koreksi *drift* dapat dinyatakan sebagai berikut (Gunawan, 1985):

$$g_{di} = \frac{t_{s_i} - t_{s_0}}{t'_{s_0} - t_{s_0}} (g_{s_0} - g'_{s_0}) \quad (2.17)$$

dimana g_{di} adalah koreksi *drift* di stasiun di , t_{si} adalah waktu pengukuran di stasiun i , t_{s0} adalah waktu pengukuran di titik *base* awal, t'_{s0} adalah waktu pembacaan di titik *base*, g_{s0} adalah nilai gravitasi di *base* stasiun saat *looping*, dan g'_A adalah nilai gravitasi di *base* saat awal.

Nilai medan gravitasi terkoreksi *drift* dapat dinyatakan sebagai berikut

$$g_{TD}(x, y, z) = g_{TPS}(x, y, z) - g_{di}(x, y, z) \quad (2.18)$$

2.4.4 Nilai Medan Gravitasi Observasi Relatif dan Mutlak

Nilai medan gravitasi observasi di topografi relatif adalah hasil pengukuran suatu titik yang dibandingkan terhadap suatu titik referensi. Umumnya terdapat satu titik yang dijadikan titik referensi pengukuran. Titik referensi ini sudah diketahui nilai medan gravitasi mutlakanya. Titik yang biasa digunakan sebagai titik referensi adalah titik *base*.

Nilai medan gravitasi observasi di topografi mutlak adalah nilai medan gravitasi yang sebenarnya di titik pengukuran. Untuk mengubah nilai medan gravitasi observasi di topografi mutlak dapat dilakukan dengan mengikatkan nilai emdan graviatsi relatif ke nilai medan gravitasi mutlak yang dimiliki oleh titik referensi.

Hal ini dapat dilakukan dengan menjumlahkan nilai medan gravitasi observasi di topografi relatif terhadap nilai medan gravitasi mutlak titik referensi sebagai berikut

$$g_{obs} = g_{ti} + (g_d - g_{dri}) \quad (2.19)$$

dengan g_{obs} adalah nilai gravitasi mutlak di titik amat, g_{ti} adalah nilai gravitasi mutlak di titik ikat, g_d adalah nilai gravitasi terkoreksi *drift* di titik amat dan g_{dri} adalah nilai gravitasi terkoreksi *drift* di titik ikat (mgal).

2.4.5 Koreksi Lintang

Nilai medan gravitasi teoritis adalah nilai medan gravitasi prediksi di titik pengukuran. Nilai medan gravitasi ini tidak memperhitungkan pengaruh geologi maupun benda anomali. Medan gravitasi teoritis memperhitungkan letak titik pengukuran (lintang), elevasi titik pengukuran, densitas rata – rata daerah survey dan topografi daerah survey. Adapun untuk mendapatkan nilai medan gravitasi teoritis ini dapat dengan menggunakan beberapa koreksi.

Nilai percepatan gravitasi di khatulistiwa berbeda dengan di ekuator. Gravitasi di khatulistiwa lebih kecil daripada di kutub karena jejarnya lebih panjang. Dengan kata lain nilai percepatan gravitasi pada setiap titik dipengaruhi oleh posisi lintang. Dari formula yang diadopsi oleh *World Geodetic System* (WGS) 1984 dikeluarkan oleh *International Association of Geodesy* (IAG). Rumusan fungsi gravitasi lintang WGS 1984 adalah sebagai berikut (Garland, 1971)

$$g_n(x, y, 0)_{1984} = 978032,53359 \frac{1 + 0,00193185265241 \sin^2 \phi}{\sqrt{1 - 0,00669437999014 \sin^2 \phi}} \quad (2.20)$$

dimana $g_n(x, y, 0)$ adalah nilai medan gravitasi normal di referensi sferoida (x,y,0) dan ϕ adalah nilai lintang posisi di setiap titik pengukuran yang menggunakan sistem referensi geodetik WGS 1984.

2.4.6 Koreksi Udara Bebas

Hukum Newton menyatakan bahwa nilai emdan gravitasi berbanding terbalik terhadap kuadrat jarak antara kedua benda. Sehingga semakin tinggi suatu tempat dari permukaan bumi maka percepatan gravitasi bumi semakin kecil karena bertambahnya jarak dari pusat bumi ke titik pengukuran. Pada koreksi gravitasi normal benda dianggap terletak di sferoid referensi. Padahal kenyataannya seringkali pengukuran gravitasi dilakukan di daerah yang tinggi di atas *mean sea level* (m.s.l). Oleh karena itu harus dilakukan koreksi terhadap pembacaan gravimeter akibat perbedaan ketinggian.

Nilai koreksi udara bebas pada setiap perubahan ketinggian diperoleh dari turunan persamaan (2.3) terhadap R dengan mengabaikan tanda negatif sebagai berikut

$$\frac{g_{FA}}{\Delta R} = \frac{2GM_e}{R_e^3} = \frac{2g}{R_e} = 0,3086 \text{ mgal} / \text{m} \quad (2.21)$$

dengan $g_{FA}/\Delta R$ adalah nilai koreksi udara bebas, G adalah konstanta umum gravitasi, g adalah nilai medan gravitasi rata-rata, M_e adalah massa bumi dan R_e adalah jari-jari bumi (Telford dkk, 1990)

Anomali udara bebas adalah anomali medan gravitasi teoritis pada titik pengukuran yang dipengaruhi oleh elevasi. anomali ini diperoleh dengan perhitungan berikut

$$\Delta g_{FA}(x, y, z) = g_{obs}(x, y, z) - [g_n(x, y, 0) - g_{FA}] \quad (2.22)$$

dengan $g_n(x,y,z)$ adalah medan g teoritis yang terkoreksi udara bebas pada ketinggian z dan g_{FA} adalah koreksi udara bebas dan $\Delta g_{FA}(x,y,z)$ adalah anomali udara bebas pada ketinggian topografi.

2.4.7 Koreksi Bouger

Dalam koreksi udara bebas dan gravitasi normal massa di bawah titik pengukuran harus diperhitungkan. Jadi koreksi Bouguer tergantung pada ketinggian titik amat dari bidang datum dan rapat massa batuan antara titik amat dan bidang datum. Koreksi

Bouguer harganya berlawanan dengan koreksi udara bebas, dikurangkan jika titik amat berada di atas bidang datum dan ditambahkan bila titik amat berada di bawah bidang datum (Burger, 1997).

Adapun untuk menghitung besarnya koreksi Bouguer adalah sebagai berikut

$$g_{BS}(x, y, z) = 2\pi\rho Gh \quad (2.22a)$$

$$g_{BS}(x, y, z) = 0,04192\rho h \quad (2.22b)$$

dengan ρ adalah densitas massa Bouguer (massa topografi), G adalah konstanta umum gravitasi, dan h adalah elevasi titik pengukuran.

Kekurangan dari koreksi Bouguer adalah tidak memperhitungkan efek undulasi akibat topografi yang bervariasi. Hal ini akan dikompensasi dalam koreksi *terrain*. Selain itu, dalam menentukan densitas rata – rata yang akan digunakan dalam perhitungan koreksi Bouguer perlu dilakukan perhitungan densitas tersendiri. Adapun salah satu cara yang bisa dilakukan adalah dengan melakukan perhitungan densitas dengan menggunakan metode Parasnis.

Metode Parasnis merupakan metode penentuan densitas batuan dengan memasukkan nilai densitas tertentu dan diperoleh nilai anomali Bouguer sederhana. Metode ini mengasumsikan tidak ada korelasi antara topografi dan densitas permukaan sehingga anomali tersebar secara acak bersamaan dengan ketinggian. Hal ini menyebabkan korelasi antara topografi dan g akan mengacu pada lapisan Bouguer. Dengan mengeplot nilai $\Delta g_{obs} = 0,3086h$ pada sumbu x terhadap nilai $(-0,04192 + TC)$ pada sumbu y dimana TC adalah koreksi medan, kemudian didapatkan persamaan garis regresinya melalui titik nol, maka nilai koefisien kemiringan akan mendekati nilai ρ .

2.4.8 Koreksi Medan

Adanya massa yang terletak dibawah permukaan antara titik pengamatan dan bidang sferoid pada ketinggian h sangat

mempengaruhi gaya gravitasi. Massa yang terletak antara titik ukur dengan bidang sferoid dapat disederhanakan menjadi dua bagian:

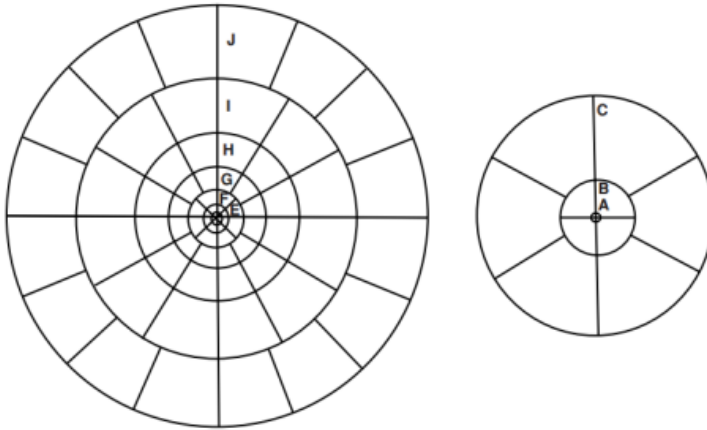
- a. Bagian lempeng datar dengan ketebalan yang sama dengan ketinggian titik ukur dengan permukaan sferoid. Tarikan massa ini disebut dengan efek Bouguer.
- b. Bagian yang berada di atas atau bagian yang hilang di bawah permukaan lempeng. Bagian ini dikatakan sebagai efek topografi (efek medan).

Koreksi topografi dilakukan untuk mengoreksi adanya penyebaran massa yang tidak teratur di sekitar titik pengukuran. Pada koreksi Bouguer mengandalkan bahwa titik pengukuran di lapangan berada pada bidang datar yang sangat luas. Sedangkan kenyataan di lapangan bias saja terdapat topografi yang tidak datar akan tetapi terdapat kumpulan gunung ataupun perbukitan. Maka jika hanya dilakukan koreksi Bouguer saja hasilnya akan kurang baik.

Dari kenyataan di atas, pengaruh material yang berada di sekitar baik material yang ada berada di atas maupun di bawah titik pengukuran turut member sumbangan terhadap hasil pengukuran di titik pengukuran tersebut sehingga harus dilakukan koreksi topografi terlebih jika medan pengukuran memiliki topografi yang tidak beraturan seperti rangkaian pegunungan, ataupun bukit (Susilawati, 2005). Jika medan pengukuran relatif datar maka koreksi topografi/medan dapat diabaikan.

Untuk menghitung pengaruh terrain, digunakan hammer chart yang membagi daerah sekitar titik amat dengan beberapa zona dan sektor yang merupakan bagian dari silinder konsentris (Fitriyadi, 2005). Secara teknis untuk menghitung koreksi ini digunakan Hammer Chart yang transparan dan dapat membagi daerah sekitar titik amat atas beberapa zone dan sektor yang merupakan bagian dari silinder konsentris. Chart yang sesuai dengan skala peta topografi diletakkan pada posisi titik amat yang akan dihitung koreksinya, ketinggian sektor adalah rata – rata kontur topografi yang melaluinya di ketinggian titik amat. Jumlah

dari seluruh koreksi pada tiap zone dan sektor merupakan koreksi medan untuk titik amat.



Gambar 2.3 Hammer chart

Anomali yang dihasilkan setelah dilakukan koreksi *terrain* adalah Anomali Bouguer Lengkap pada topografi, yaitu

$$\Delta g_{BL}(x, y, z) = g_{obs}(x, y, z) - [g_n(x, y, z) + g_{BS}(x, y, z) - g_T(x, y, z)] \quad (2.23)$$

2.5 Reduksi Bidang Datar

Data anomali bouguer lengkap di topografi akan mengalami distorsi akibat topografi yang tidak homogen. Ketinggian titik ukur yang bervariasi ini perlu untuk diseragamkan sehingga mempermudah interpretasi. Metode bidang titik massa Dampney adalah metode yang digunakan untuk membawa data anomali bouguer lengkap di topografi ke suatu bidang datar dengan ketinggian tertentu. Massa penyebab anomali di dekati menjadi sebuah bidang massa yang disebut bidang titik massa yang diperoleh dari data-data topografi. Bidang massa penyebab anomali kemudian digunakan untuk menentukan nilai gravitasi pada suatu bidang datar sesuai dengan ketinggian yang diinginkan.

Untuk menentukan nilai kedalaman sumber ekuivalen titik massa yang terbaik, beberapa tes dilakukan sehingga empiris

disimpulkan bahwa selisih jarak antara sumber ekuivalen titik massa dengan ketinggian bidang datar dari sferoida minimal 2,5 kali jarak rata-rata antar titik pengukuran di topografi dan maksimal 6 kali jarak rata-rata antar titik pengukuran di topografi yang dapat dituliskan sebagai

$$2,5\Delta x < (h - z_i) < 6\Delta x \quad (2.24)$$

Persamaan metode Bidang Titik Massa Dampney dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta g(x, y, z) = G \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(\sigma(\alpha, \beta h)(h - z)) d\alpha d\beta}{[(x - a)^2 + (y - \beta)^2 + (z - h)^2]^{3/2}} \quad (2.25)$$

dimana $\Delta g(x, y, z)$ adalah nilai dari anomali gravitasi di topografi, $\sigma(\alpha, \beta, h)$ adalah kontras densitas, x, y, z adalah koordinat anomali gravitasi di topografi, α, β, h adalah koordinat titik massa pada bidang titik massa, dan h adalah kedalaman bidang titik massa dari sferoida referensi.

2.6 Kontinuasi ke Atas

Metode kontinuasi ke atas pada umumnya digunakan jika pengukuran gravitasi merupakan *land*. Dasar dari metode ini adalah teorema yang dikembangkan oleh matematikawan G. G. Stokes (1819-1903). Teorema ini menyatakan bahwa nilai gravitasi bumi dapat diketahui dimanapun di permukaan bumi, begitu juga pada bidang pengukuran *Upward Continuation* di mana bidang pengukuran dibawa keatas dengan jarak tertentu juga dapat diketahui (Robinson,1998).

Metode kontinuasi ke atas pada prinsipnya membawa bidang pengukuran ke atas dengan variasi jarak atau ketinggian tertentu yang bertujuan untuk mendominasi anomali regional dan meminimalkan pengaruh *noise* dan efek anomali residual. Dengan memperoleh anomali regionalnya dan dengan mengurangkannya dengan anomali Bouguer maka akan diperoleh anomali residualnya.

Prinsip inilah yang mendasari konsep kontinuitas seperti persamaan yang dirumuskan oleh Blakely (1995) berikut ini:

$$F(x', y', -h) = \iint \frac{h / 2\pi}{\{(x-x')^2 + (y-y')^2 + h^2\}^{3/2}} F(x, y, 0) dx dy \quad (2.26)$$

Persamaan (2.26) merupakan persamaan untuk kontinuitas *upward* pada medan gravitasi dimana $F(x', y', -h)$ merupakan total medan di titik $F(x', y', -h)$ yang berada pada bidang kontinuitas dengan ketinggian sebesar h terhadap bidang permukaan (bidang pengukuran sebenarnya) yang besar medannya $F(x, y, 0)$ dan telah diketahui sebelumnya.

Persamaan (2.25) merupakan integral konvolusi dari $F(x, y)$ dan fungsi filter $\frac{h / 2\pi}{(x^2 + y^2 + h^2)^{3/2}}$ atau dapat disimbolkan $W_{up}(x, y)$. Dengan demikian, konvolusi dalam domain ruang sama dengan perkalian dalam domain frekuensi Fourier. Dalam bentuk frekuensi, persamaan kontinuitas ke atas berupa:

$$K(u, v) = G(u, v) Y_{up}(u, v) \quad (2.27)$$

dimana $K(u, v)$, $G(u, v)$, dan $Y_{up}(u, v)$ merupakan transformasi Fourier dari $H(x, y)$, $F(x, y)$, dan fungsi filter $W_{up}(x, y)$.

$$\begin{aligned} Y_{up}(u, v) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{h / 2\pi}{(x^2 + y^2 + h^2)^{3/2}} e^{-i(ux+vy)} dx dy \\ &= e^{-h(u^2+v^2)^{1/2}} \end{aligned} \quad (2.28)$$

2.7 Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Anomali gravitasi yang terukur di lapangan merupakan penjumlahan dari semua kemungkinan sumber anomali di bawah

permukaan, dimana salah satunya merupakan target dalam survei gravitasi. Untuk itu perlu dilakukan pemisahan antara anomali regional, anomali residual dan *noise* (derau).

Anomali gravitasi regional dapat diperoleh melalui beberapa metode *filtering* data gravitasi. Salah satunya yaitu dengan metode kontinuitas ke atas, secara umum proses ini akan menghasilkan anomali gravitasi regional yang memiliki frekuensi rendah dan berasosiasi dengan sumber anomali yang dalam. Melalui proses kontinuitas ke atas, efek – efek lokal/residual yang disebabkan oleh anomali dangkal akan dihilangkan sehingga yang diperoleh hanya dominan dari regionalnya saja.

Anomali gravitasi residual dapat diperoleh dengan mengurangkan anomali Bouguer di bidang datar dengan anomali gravitasi regional hasil dari kontinuitas ke atas, atau dapat ditulis dengan

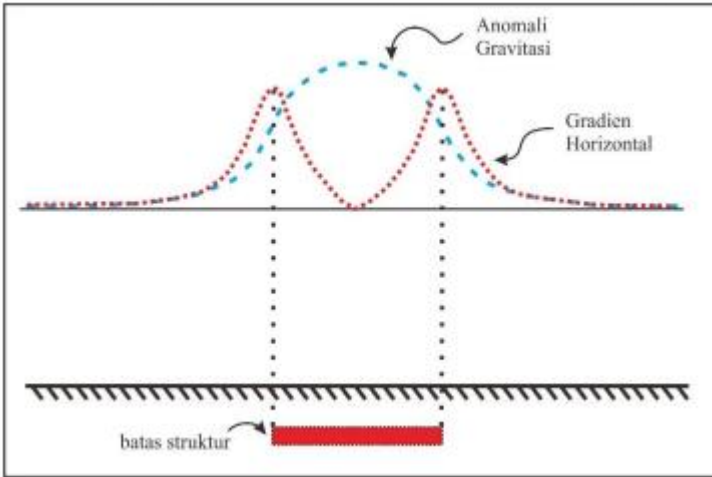
$$\Delta g_{res}(i,j) = \Delta g(i,j) - \Delta g_{reg}(i,j) . \quad (2.29)$$

2.8 Analisis *First Horizontal Derivative* (FHD)

FHD anomali merupakan perubahan nilai gaya berat dari satu titik ke titik lainnya secara horizontal dengan jarak tertentu, yang memiliki karakteristik tajam berupa nilai maksimum atau minimum pada kontak benda anomali, sehingga dapat digunakan untuk menunjukkan batas suatu struktur geologi berdasarkan anomali gaya berat.

Turunan horizontal lebih mudah diaplikasikan dengan menggunakan metode turunan berhingga dan perhitungan secara diskrit. Untuk data dua dimensi, misalnya jika nilai $g(i, j)$, $i = 1, 2, 3, \dots$, $j = 1, 2, 3, \dots$, yang menunjukkan perhitungan diskrit dari $g(x, y)$ pada interval sampel yang sama Δx dan Δy , maka turunan horizontal pertama dari $g(x, y)$ pada titik ij diberikan oleh persamaan berikut

$$\frac{dg(x, y)}{dx} \approx \frac{g_{i+1,j} - g_{i-1,j}}{2\Delta x} \quad (2.30)$$



Gambar 2.4 Nilai gradient horizontal pada model tabular (Blakely, 1996)

2.9 Analisis *Second Vertical Derivative* (SVD)

SVD bersifat sebagai *high pass filter*, sehingga dapat menggambarkan anomali residual yang berasosiasi dengan struktur dangkal yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis patahan turun atau patahan naik.

Perhitungan SVD diturunkan langsung dari persamaan Laplace untuk anomali gaya berat di permukaan, yang dituliskan dalam persamaan:

$$\nabla^2 g = 0 \text{ atau}$$

$$\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = 0 \quad (2.31)$$

Sehingga SVD diberikan oleh persamaan :

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = -\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} \quad (2.32)$$

SVD dari suatu anomali gaya berat permukaan adalah sama dengan negatif dari *second horizontal derivative* (SHD). Anomali yang disebabkan oleh struktur cekungan mempunyai nilai harga mutlak minimal SVD selalu lebih besar daripada harga maksimalnya. Sedangkan anomali yang disebabkan struktur intrusi berlaku sebaliknya, harga mutlak minimalnya lebih kecil dari harga maksimalnya. Dalam bukunya, Reynolds (1997) menyatakan bahwa criteria untuk menentukan jenis struktur patahan adalah sebagai berikut:

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} \right)_{maks} > \left| \left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} \right) \right|_{min} \quad \text{untuk patahan normal} \quad (2.33)$$

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} \right)_{maks} < \left| \left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} \right) \right|_{min} \quad \text{untuk patahan naik} \quad (2.34)$$

Prinsip dasar dan teknik perhitungan metode ini telah dijelaskan oleh Henderson & Zietz (1949), Elkins (1951), dan Rosenbach (1953). Pada data gravitasi, nilai anomali akan mengalami perubahan secara vertikal yang diakibatkan karena adanya efek distribusi massa yang tidak merata secara vertikal, maka turunan keduanya akan memperlihatkan besarnya efek gravitasi dari struktur-struktur yang lebih luas dan terletak jauh lebih dalam. Oleh karena itu struktur-struktur kecil/lokal dan samar-samar dapat diperjelas keberadaannya atau lebih dipertajam bentuk kurvanya dianding struktur-struktur regional yang lebih melebar bentuknya.

Pada metode gravitasi nilai anomali Bouguer digunakan sebagai input pada proses pengolahan data turunan kedua vertikal untuk menghasilkan anomali residual. Untuk mengubah data anomali Bouguer menjadi data turunan kedua/anomali residual, dapat digunakan chart dengan beberapa lingkaran berpusat pada satu titik.

Bila grid data dibuat berspasi S, maka harga turunan kedua pada pusat lingkaran dengan radius berbeda adalah:

$$D = \frac{c}{s^2} (a_0 T_0 + a_1 \bar{T}_1 + a_2 \bar{T}_2 + \dots) \quad (2.35)$$

Dimana D adalah harga turunan kedua pada pusat lingkaran, T_0 adalah harga anomali pada pusat lingkaran, T_1 adalah harga anomali rata-rata pada pusat lingkaran, C adalah koefisien numeric, S adalah jarak antar kisi, dan a_0, a_1, a_2, \dots adalah faktor bobot dari harga gravitasi.

Persamaan (2.36) di atas merupakan persamaan umum dari pendekatan turunan kedua vertikal. Kemudian Henderson & Zietz, Elkins, dan Rosenbach menurunkan persamaan-persamaan yang menjadi solusi penyelesaian dari turunan vertikal orde dua, sebagai berikut:

- a. Henderson & Zietz (1949)

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = \frac{2}{s^2} (3T_0 - 4\bar{T}_1 + \bar{T}_2)$$

- b. Elkins (1951)

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = \frac{1}{28s^2} (16T_0 + 8\bar{T}_1 - 12\bar{T}_2)$$

- c. Rosenbach (1953)

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = \frac{1}{24s^2} (96T_0 - 72\bar{T}_1 - 32\bar{T}_2 + 8\bar{T}_3)$$

dimana:

T_0 : Harga Rata-Rata Medan Anomali Pada $r = 0$

T_1 : Harga Rata-Rata Medan Anomali Pada $r = s$

T_2 : Harga Rata-Rata Medan Anomali Pada $r = s\sqrt{2}$

T_3 : Harga Rata-Rata Medan Anomali Pada $r = s\sqrt{5}$

2.10 Pemodelan Gravitasi

Setelah anomali gravitasi dipisahkan antara anomali regional dengan anomali residual, maka dapat dilakukan suatu pemodelan untuk menampilkan distribusi densitas di bawah permukaan dan

menggambarkan sumber anomali. Pemodelan yang dilakukan menggunakan metode pemodelan Talwani 2,5D. Pemodelan Talwani 2,5D adalah pemodelan anomali gravitasi dengan menggunakan bentuk anomali 2,5D yaitu model 2D dengan penampang berhingga yang sama pada arah tegak lurus dengan bidang 2D-nya, maka besarnya medan gravitasi parsial karena suatu volume dijabarkan sebagai berikut

$$F_x = -2G\rho \frac{\partial U}{\partial x} \quad (2.36)$$

$$F_y = -2G\rho \frac{\partial U}{\partial y} \quad (2.37)$$

$$F_z = -2G\rho \frac{\partial U}{\partial z} \quad (2.38)$$

Jika diasumsikan ρ bernilai tetap maka medan gravitasi pada arah vertikal (z) menjadi berikut

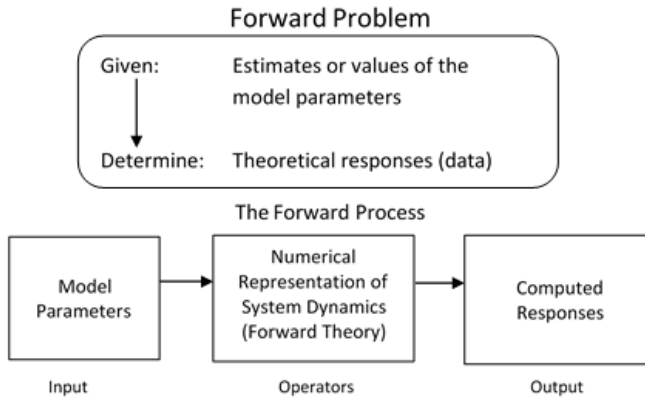
$$F_z = -G\rho \iiint \frac{\partial}{\partial z} (x^2 + y^2 + z^2)^{-\frac{1}{2}} dx dy dz \quad (2.39)$$

(Bullard, 2010).

2.10.1 Forward Modelling

Pemodelan ke depan adalah suatu perhitungan data yang secara teoritis akan teramati di permukaan bumi jika diketahui harga parameter model bawah permukaan tertentu. Dalam pemodelan dicari suatu model yang cocok atau *fit* dengan data lapangan, sehingga model tersebut dianggap mewakili kondisi bawah permukaan di daerah pengukuran (Grandis, 2009).

Istilah *forward modelling* digunakan untuk proses *trial and error*. *Trial and error* adalah proses coba-coba untuk memperoleh kesesuaian antara data teoritis dengan data lapangan. Diharapkan dari proses *trial and error* ini diperoleh model yang cocok responnya dengan data.



Gambar 2.5 Alur pemodelan ke depan (Supriyatno, 2007)

Dengan menggunakan notasi matriks, data anomali gravitasi $d = [d_i] ; i = 1, 2, \dots, N$ merupakan fungsi dari distribusi rapat massa melalui hubungan linier berikut:

$$d = \underline{G} \cdot m \quad (2.40)$$

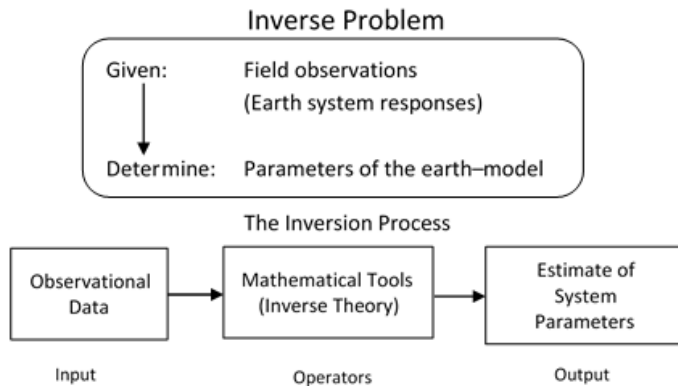
dimana $\underline{G} = [G_{ik}] ; i = 1, 2, \dots, N ; k = 1, 2, \dots, M$ adalah matriks kernel dan $m = [m_k] ; k = 1, 2, \dots, M$ adalah vektor model. Komponen matriks kernel G_{ik} menyatakan kontribusi blok ke- k dengan rapat massa satuan pada anomali gravitasi di titik ke- i . sementara N dan M masing-masing adalah jumlah data dan jumlah parameter model (blok).

2.10.2 Inverse Modelling

Proses inversi adalah suatu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistik untuk mendapatkan informasi yang berguna mengenai distribusi sifat fisis bawah permukaan. Di dalam proses inversi, analisis terhadap data lapangan dilakukan dengan cara melakukan *curve fitting* (pencocokan kurva) antara model matematika dan data lapangan. Tujuan dari proses inversi adalah untuk mengestimasi parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya (*unknown*).

parameter). Proses inversi terbagi dalam level-level tertentu mulai dari yang paling sederhana seperti *fitting* garis untuk data seismik refraksi sampai kepada level yang rumit seperti tomografi akustik dan *matching* (pencocokan) kurva resistivitas yang multidimensi. Contoh permasalahan inversi dalam bidang geofisika adalah

- a. Penentuan struktur bawah tanah
- b. Estimasi parameter-parameter bahan tambang
- c. Estimasi parameter-parameter akumulasi sumber energi
- d. Penentuan lokasi gempa bumi berdasarkan waktu gelombang datang
- e. Pemodelan respon *lithosphere* untuk mengamati proses sedimentasi



Gambar 2.6 Alur pemodelan inversi (Supriyatno, 2007)

Dalam permasalahan metode inversi, selalu dihubungkan dengan parameter model (M) dan jumlah data (N) dimana jumlah dari masing-masing ini akan menentukan klasifikasi permasalahan inversi dan cara penyelesaiannya. Apabila jumlah model parameter lebih sedikit dibandingkan data terukur di lapangan ($M < N$), maka hal ini dinamakan *overdetermined* sehingga cara penyelesaiannya dapat menggunakan metode pencocokan (*best fit*) terhadap data

lapangan. Apabila dalam kondisi lain yakni dimana jumlah parameter yang ingin dicari lebih banyak dari pada jumlah datanya, maka hal ini dapat dinamakan *problem under determined*. Namun apabila terdapat banyak model yang dapat sesuai dengan datanya, maka hal ini dinamakan *non-uniqueness*.

Mengingat data pengukuran hanya terletak di permukaan sepanjang lintasan atau penampang yang memotong anomali maka secara umum jumlah data jauh lebih kecil daripada jumlah parameter model yang dicari. Oleh karena itu solusi inversi diperoleh dengan meminimumkan *norm* model dan model inversi dinyatakan berikut

$$m = \underline{G}^T \left[\underline{G}\underline{G}^T + \lambda \underline{I} \right]^{-1} d \quad (2.41)$$

dimana λ adalah faktor redaman yang dapat digunakan untuk mengurangi *over-fitting* yaitu respons model yang sama persis dengan data termasuk *noise* yang terkandung dalam data.

2.11 Geologi Regional

Deposit emas-perak Pongkor terletak di sisi timur laut dari Kubah Bayah, 110 km sebelah barat daya dari Jakarta. Daerah Pongkor merupakan bagian dari Busur Benua Neogen Sunda Banda yang berkembang di sepanjang sisi Selatan Lempeng Eurasia sebagai akibat dari subduksi Lempeng India-Australia. Unit geologi berada di lahan seluas sekitar 40 hingga 80 km dan terdiri dari serpih dan batupasir *basement* yang dilapisi oleh pusat sabuk vulkanik dari Oligosen sampai Miosen Awal, terdiri dari sebagian besar batuan gunung api kasar, dengan diselingi batu gamping dan batupasir. Batuan terobosan intermediet yang masuk ke dalam formasi Paleogen dan Miosen Awal (Warmada. 2003).

2.11.1 Fisiografi

Fisiografi daerah Jawa Barat terdiri dari 4 bagian besar yaitu dataran pantai Jakarta (*Caostal Palin of Batavia*), zona Bogor (*Bogor Zone*), zona Bandung (*Bandung Zone*), dan zona

Pegunungan Selatan Jawa Barat (*Southern Mountain of West Java*) (Van Bemmelen, 1949).

Berdasarkan zona yang telah dibagi oleh van Bemmelen (1949), daerah penelitian yang tepatnya berlokasi di Pongkor termasuk dalam fisiografi Zona Bogor yang menempati bagian tengah barat – Jawa Barat.



Gambar 2.7 Fisiografi Jawa Barat (van Bemmelen, 1994)

2.11.2 Geomorfologi

Daerah Pongkor pada umumnya berupa perbukitan-perbukitan tinggi yang memiliki tinggi rata-rata 300 m sampai 900 m diatas permukaan laut. Memiliki relief rata-rata dari landai sampai agak-curam. Hal ini bisa dilihat dari kerapatan kontur di daerah tersebut (Gambar 2.5).

Daerah Pongkor memiliki pola aliran sungai berupa paralel. Pola pengaliran paralel merupakan pola pengaliran dasar yang secara umum menunjukkan daerah dengan lereng sedang sampai agak curam dan dapat ditemukan pula pada daerah bentuk lahan perbukitan yang memanjang dengan aliran relatif sejajar. Pola pengaliran ini mencerminkan daerah yang dikontrol

perlipatan dan struktur. Sungai yang memiliki pola pengaliran ini adalah Sungai Cikaniki dan Sungai Cisarua, serta beberapa sungai intermiten yang merupakan anak dari kedua sungai tersebut.



Gambar 2.8 Peta topografi dan lokasi daerah Pongkor (tanpa skala)

2.11.3 Stratigrafi Regional

Menurut Martodjojo (1994), mandala sedimentasi di Jawa Barat ada 3, yaitu mandala paparan kontinen, mandala Banten, dan mandala cekungan Bogor. Stratigrafi regional daerah penelitian dapat dijelaskan melalui korelasi antara bagian Mandala Banten dan juga Mandala Cekungan Bogor (Basuki, dkk., 1994).

Secara regional daerah penelitian merupakan bagian dari stratigrafi daerah Banten selatan yang telah disusun oleh Van Bemmelen (1949) berdasarkan hasil penelitian dari Musper dan Koolhoven (1933) yang pertama kali mempelajari stratigrafi daerah Banten selatan. Hasil penelitiannya merupakan titik tolak bagi peneliti berikutnya untuk membagi stratigrafi daerah Banten Selatan, diantaranya Van Bemmelen (1949), Marks (1957) dan Sujatmiko dan S. Santoso (1988) yang saling mengkolerasi dari penelitian sebelumnya oleh Koolhoven (1933).

Martodjono (1984) membagi mandala sedimentasi di Jawa Barat menjadi tiga mandala berdasarkan ciri sedimen di daerah tersebut selama zaman Tersier, yaitu mandala paparan Kontinen, mandala cekungan Bogor dan mandala Banten. Mandala paparan Kontinen pada hakekatnya sama dengan zona fisiografi dataran pantai Jakarta (Van Bemmelen, 1949) yang umumnya ditempati oleh endapan paparan dengan lingkungan pengendapan laut dangkal. Mandala cekungan Bogor mencakup zona Bogor, zona Bandung dan zona pegunungan selatan (Van Bemmelen, 1949) yang didominasi oleh endapan aliran gravitasi. Berdasarkan pembagian tersebut daerah penelitian termasuk dalam mandala Banten yang kurang tegas status mandirinya, dimana sedimen sedimen penyusunnya merupakan transisi dari mandala paparan kontinen dan mandala cekungan Bogor.

Tatanan stratigrafi Banten selatan menurut Sujatmiko dan Santoso. S (1992) dengan litostratigrafi dari tua ke muda sebagai berikut :

a. Formasi Bayah

Formasi Bayah berumur Eosen, terbagi atas tiga anggota, yaitu Anggota Konglomerat terendapkan pada lingkungan parilik, memiliki ciri sedimen klastika kasar, setempat bersisipan batubara. Anggota Batu lempung dengan lingkungan pengendapan neritik dan umumnya berupa batu lempung-napal, dan Anggota Batu gamping yang tertindih selaras oleh Formasi Cicacurup.

b. Formasi Cicacurup

Formasi Cicacurup berumur Eosen Akhir terendapkan pada lingkungan parilik hingga litoral, memiliki ciri sedimen kaya feldspar dengan sisipan batu gamping dan tuf, formasi ini tertindih selaras dengan formasi Cijengkol.

c. Formasi Cijengkol

Formasi Cijengkol terbagi atas tiga anggota yaitu : Anggota Batupasir, berumur Oligosen Awal, terendapkan pada lingkungan parilik, memiliki ciri sedimen epiklastika kasar dengan alas konglomerat. Anggota Napal berumur Oligosen Awal-Akhir, memiliki ciri sedimen klastika halus dengan sisipan batubara, terendapkan pada lingkungan parilik-neritik. Anggota batu gamping berumur akhir Oligosen Awal–Oligosen Akhir, memiliki ciri batu gamping berselingan napal dan batu lempung, terendapkan pada lingkungan neritik. Formasi ini tertindih selaras oleh Formasi Citarate.

d. Formasi Citarate

Formasi Citarate terbagi atas Anggota Batu gamping di bagian bawah berumur Miosen Awal, memiliki ciri batu gamping terumbu terendapkan pada lingkungan laut. Anggota Tuf pada bagian atas, terendapkan pada lingkungan litoral–darat, dengan ciri batuan epiklastik tufan Formasi Citarate tertindih tidak selaras oleh Formasi Cimapag.

e. Formasi Cimapag

Formasi Cimapag berumur akhir Miosen Awal, merupakan breksi atau konglomerat, terendapkan pada lingkungan laut–darat. Anggota Batu gamping dengan ciri sisipan batu gamping pada bagian bawah formasi. Anggota Batu lempung dengan ciri sisipan tipis sedimen klastika halus tufan di bagian atas formasi. Menindih tidak selaras satuan batuan yang lebih tua.

f. Formasi Seraweh

Formasi Seraweh berumur awal Miosen Tengah, terbagi atas Anggota Batu gamping di bagian bawah, yang terendapkan pada lingkungan laut, dengan ciri adanya batu gamping terumbu. Anggota Batu lempung dibagian atas yang dengan ciri batuan klastika halus. Formasi ini tertindih selaras oleh formasi Badui.

g. Formasi Badui

Formasi Badui berumur akhir Miosen Tengah, dengan ciri sedimen klastika kasar, terendapkan pada lingkungan laut–darat. Formasi ini mempunyai anggota batu gamping yang memiliki ciri perselingan batu gamping dengan batu lempung dan napal. Tertindih selaras oleh formasi Bojongmanik.

h. Formasi Bojongmanik

Formasi Bojongmanik berumur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir, terbagi atas 3 anggota, yaitu Anggota Batu lempung, dengan ciri sedimen klastika halus dengan sisipan lignit. Anggota Batu gamping dan anggota batupasir yang memiliki ciri sedimen klastika kasar dengan sisipan lignit.

i. Formasi Genteng

Formasi Genteng berumur Pliosen Awal, memiliki ciri sedimen klastika tufan dengan serakan kayu terkersikkan dan terendapkan pada lingkungan darat. Formasi Genteng tertindih tidak selaras terhadap formasi di bawahnya yaitu Formasi Bojongmanik.

j. Formasi Cimanceuri

Formasi Cimanceuri berumur Pliosen Awal, dicirikan dengan sedimen klastika dengan adanya fosil moluska, dan terendapkan pada lingkungan laut dangkal–litoral.

k. Formasi Cipacar

Formasi Cipacar berumur Pliosen Akhir, memiliki ciri sedimen klastika tufan terendapkan pada lingkungan laut–darat. Formasi Cipacar menindih tidak selaras di atas Formasi Genteng.

l. Formasi Bojong

Formasi Bojong berumur Plistosen Awal, memiliki ciri sedimen laut dan sedimen darat dengan sisipan gambut. Formasi ini diduga berbeda fasies (menjari) dengan batuan gunungapi Endut, satuan gunung api yang tersingkap dan terbentuk berumur Eosen sampai Kuartar.

Daerah gunung Pongkor dan sekitarnya tersusun atas breksi tuf, tuf lapili dan intrusi andesit yang menerobos batuan sejak tersier dan endapan breksi vulkanik kuartar (Basuki dkk, 1994).

Breksi tuf, berwarna abu-abu kehijauan, terdiri atas fragmen andesit dan tuf yang diikat matrik tufan, pada umumnya bergradasi dari tuf lapili sampai tuf, sisipan batu lempung hitam dengan ketebalan lebih dari 15 meter dengan struktur laminasi bergelombang. Kehadiran foraminifera pada matrik breksi tuf mengindikasikan lapisan breksi tuf terendapkan di lingkungan laut pada masa miosen awal.

Tuf lapili, berwarna coklat sampai hijau, dengan sisipan breksi berwarna hitam dengan sortasi buruk. Lingkungan pengendapan diindikasikan dengan kehadiran kayu terkesikkan yang menandakan terendapkan pada lingkungan darat, diendapkan pada miosen awal yang termasuk dalam Formasi Cimapag.

Andesit, singkapan intrusi andesit dijumpai pada sebelah barat dan timur Gunung Pongkor. Berdasarkan hubungan intrusi

terhadap Formasi Andesit Tua, Formasi Cimapag dan Formasi Bojongmanik, diperkirakan terjadi sejak Miosen Tengah.

Breksi, Produk vulkanik ditemukan di sebelah tenggara dengan bentuk membaji yang umurnya lebih muda dari tersier. Mempunyai hubungan tidakselaras dengan Formasi Bojongmanik dan unit Andesit, diperkirakan terbentuk pada Pliosen – Plistosen.

Intrusi andesit terlihat pada bagian timur dan bagian barat dari area Gunung Pongkor. Berdasarkan korelasi intrusi, satuan intrusi andesit ini terkorelasi dengan Formasi Andesit Tua, Formasi Cimapag dan Formasi Bojongmanik. Satuan andesit ini diasumsikan berumur Miosen Tengah. Selain itu terdapat produk vulkanik yang ditemukan pada bagian tenggara area Gunung Pongkor. Satuan ini menindih secara tidak selaras Formasi Bojongmanik dan Satuan Andesit. Berdasarkan hubungannya tersebut diperkirakan bahwa batuan andesit dari produk vulkanik muda ini berumur Pliosen hingga Pleistosen.

Stratigrafi daerah Banten Selatan menurut Koesoemadinata (1962) ini dapat dikorelasikan dengan stratigrafi daerah Gunung Pongkor menurut Basuki (1992) seperti berikut :

MAIN ROCK TYPE	SOUTH BANTEN (Koesoemadinata, 1962)	G. PONGKOR AREA (Agung Basuki, 1992)	AGE	OROGENIC MOVEMENT
Alluvium			HOLOCENE	<i>Uplift</i>
Andesitic rocks			PLEISTOCENE	<i>Weak folding and faulting</i>
Carbonaceous sandstone	Cimaneure Fm. Bakux Fm.	Old Volcanic Products	PLIOCENE	<i>Main folding (formation of veins)</i>
Mudstone				
Carbonaceous sandstone	Sorewah Fm.	Bojongmanik Fm ?	MIDDLE MIOCENE	
Tuff/Lapilli Tuff	Cimapag Fm.			<i>Folding</i>
Polymic Breccia			EARLY MIOCENE	
Sandstone	Chirante Fm.			<i>Vertical movement</i>
Limestone	Cijangkot Fm.		OLIGOCENE	
Conglomerate				
Shale	Bayah Fm.	Bayah Fm ?	EOCENE	
Andesite				
Granodiorite				

Gambar 2.10 Korelasi stratigrafi daerah Gunung Pongkor dengan daerah Banten Selatan

2.11.4 Struktur Geologi Regional

Pulunggono dan Martodjojo (1994) mengatakan bahwa pada dasarnya di Pulau Jawa ada 3 arah kelurusan struktur dominan.

Arah pertama adalah arah Timu laut-Barat daya (NE SW) yang dinamakan dengan arah Meratus, diwakili oleh sesar Cimandiri di Jawa Barat, yang dapat diikuti ke timurlaut sampai batas timur Cekungan Zaitin dan Cekungan Biliton. Pola singkapan batuan pra-Tersier di daerah Luk Ulo (Jawa Tengah) juga menunjukkan arah Meratus. Pola ini merupakan pola tertua di Pulau Jawa dan sesar-sesar di pola ini diketahui berumur Kapur-Paleosen. Di Pulau Jawa sesar-sesar ini diaktifkan kembali pada umur-umur yang lebih muda. Tatanan tektonik kompresif oleh adanya lempeng samudra India yang menunjam ke bawah benua (paparan) Sunda menjadi penyebab sesar-sesar pada pola ini adalah pola sesar mendatar.



Gambar 2.11 Pola umum struktur di Jawa Barat (Pulunggono dan Martodjojo, 1994)

Pola struktur kedua yang dominan dijabarkan oleh sesar-sesar yang berarah utara selatan dan dinamakan Pola Sunda, umumnya terdapat di bagian barat wilayah Jawa Barat. Di kawasan sebelah timur dari Pola Meratus, arah Utara-Selatan ini tidak terlihat. Pulunggono dan Martodjojo, 1994 mengatakan bahwa sesar-sesar yang ada pada umumnya berpola regangan dan dari data seismik di lepas pantai Jawa Barat tepatnya di Cekungan Zaitun menunjukkan arah Sunda ini mengaktifkan Meratus pada umur Eosen Akhir-Oligosen Akhir, sehingga disimpulkan Pola Sunda lebih muda dari Pola Meratus.

Arah ketiga adalah arah Barat-Timur yang umumnya dominan di Pulau Jawa dan disebut Pola Jawa. Di Jawa Barat pola ini diwakili sesar-sesar naik pada Zona Bogor (Van Bemmelen, 1949). Pola ini merupakan pola termuda yang mengaktifkan kembali seluruh pola yang ada sebelumnya dan data seismik di Pulau Jawa Utara menunjukkan bahwa pola ini masih aktif sampai sekarang. Disebutkan pula bahwa pola ini diakibatkan oleh tunjaman baru di Selatan Jawa yang mengaktifkan Pulau Jawa dan mengalami kompresi.

Struktur regional yang terdapat di Jawa Barat (Martodjojo, 1984) berupa patahan yang terdiri dari empat pola yakni arah Sumatera (N 330° E), Arah Meratus (N 30° E), Arah Bayah (N 360° E) dan Arah Sumbu Pulau Jawa (N 270° E). Secara umum pola struktur tersebut akan mempengaruhi proses dan pola mineralisasi di daerah Pongkor dan sekitarnya.

2.11.5 Alterasi dan Mineralisasi Daerah Penelitian

Pengamatan secara langsung dari singkapan batuan, dapat mengindikasikan bahwa proses alterasi telah terjadi di daerah penelitian tersebut. Alterasi merupakan perubahan mineralogi dan

komposisi kimia batuan yang disebabkan oleh interaksi antara fluida hidrotermal dengan batuan yang dilewatinya.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Febriyana, dkk. (2014), pembagian zona alterasi dapat dilakukan berdasarkan pengamatan megaskopis, mikroskopis, dan melalui analisa Difraksi Sinar X untuk mengetahui kehadiran mineral – mineral lempung yang dominan dalam penentuan zona alterasi. Secara umum alterasi hidrotermal di daerah penelitian berdasarkan komposisi mineralnya dapat dibagi menjadi 3 tipe alterasi yaitu propilitik, argilik, dan silisifikasi.

Zona Alterasi Propilitik mengontrol pada satuan lava andesit dan breksi vulkanik. Pengamatan secara megaskopis di lapangan, menunjukkan bahwa alterasi propilitik memiliki ciri – ciri berupa warna batuan biru kehijauan, dengan sifat fisis batuan relatif lunak – keras. Warna kehijauan pada alterasi ini umumnya dipengaruhi oleh komposisi mineral klorit dan smektit, sedangkan warna coklat kekuningan pada batuan diakibatkan oleh proses pelapukan. Mineral – mineral penciri yang hadir adalah jarosit, smektit, klorit, dan pirit.

Zona Alterasi Argilik mengontrol pada satuan lava andesit dan sebagian besar pada tuf. Pengamatan secara megaskopis di lapangan, menunjukkan bahwa alterasi argilik memiliki ciri – ciri berupa warna batuan putih hingga kuning kecoklatan, dengan sifat fisis batuan yang relatif lunak. Warna putih susu pada alterasi ini umumnya dipengaruhi oleh kehadiran mineral lempung, dan juga warna kuning kecoklatan disebabkan oleh proses pelapukan. Mineral – mineral penciri yang hadir adalah jarosit, smektit, monmorilonit dan pirit.

Zona Alterasi Silisifikasi pada daerah penelitian memiliki kedudukan yang relatif sejajar dengan arah pembentukan urat mineralisasi. Hal ini dapat disebabkan oleh fluida hidrotermal yang

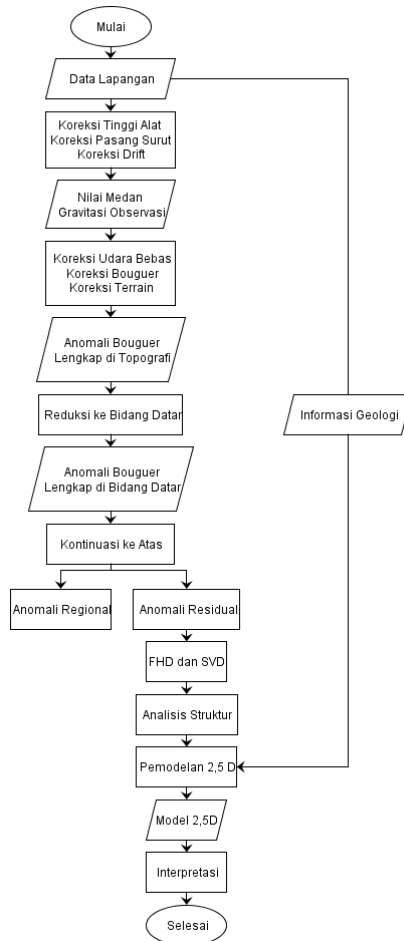
membentuk tipe alterasi silisifikasi pada daerah tersebut secara intensif bekerja menerobos melalui permeabilitas primer batuan, dan melalui permeabilitas sekunder dengan mengisi struktur geologi berupa kekar maupun sesar yang ditandai dengan hadirnya urat – urat kuarsa (*quartz vein*). Pengamatan secara megaskopis di lapangan, menunjukkan bahwa alterasi silisifikasi memiliki ciri – ciri berupa warna batuan abu – abu kehitaman, dengan sifat fisis yang relatif keras. Warna kehitaman pada silisifikasi ini umumnya disebabkan oleh proses oksidasi, sedangkan warna abu – abu menandakan hadirnya mineral kuarsa (SiO_2). Pembentukan tipe alterasi ini diinterpretasikan sebagai hasil dari proses devitrifikasi gelas vulkanik pada saat pendinginan fluida hidrotermal yang jenuh silika (Lindgren, 1933 dalam Febriyana, dkk., 2014). Tekstur alterasi yang khas berupa silika yang berbentuk *vuggy* pada zona silisifikasi, disebabkan oleh pelarutan fluida asam yang meninggalkan lubang – lubang silika, kemudian sisa pelarutan ini terkristalisasi menjadi kuarsa/silika. Mineral – mineral penciri yang hadir berupa kumpulan mineral kuarsa dan pirit.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Skema Kerja

Adapun tahapan yang dilakukan dalam proses penelitian ini sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Tahapan pengolahan data dimulai dari mempersiapkan data lapangan dan data pendukung lainnya yaitu data geologi. Kemudian data tersebut melalui beberapa koreksi sehingga diperoleh gravitasi observasi, dari data posisi titik pengukuran dilakukan pengolahan data untuk mencari gravitasi teoritis. Dengan data gravitasi observasi dan teoritis dapat diperoleh anomali Bouguer lengkap di topografi. Nilai anomali tersebut kemudian di reduksi ke bidang datar dan melalui proses kontinuitas ke atas diperoleh anomali regional. Lalu dilakukan pemisahan anomali regional dan anomali residual menggunakan *software Oasis Montaj 6.4.2*. Data dari anomali residual digunakan untuk menganalisis struktur dengan menggunakan metode FHD dan SVD. Dengan berdasarkan data geologi, dilakukan pemodelan 2,5D terhadap hasil anomali residual.

3.2 Data Penelitian

Data yang digunakan adalah data lapangan pengukuran gravitasi dan data posisi yang telah diolah menjadi koordinat UTM. Data lapangan pengukuran gravitasi terdiri dari data waktu, skala baca alat dan tinggi alat. Jumlah titik pengukuran sebanyak 193 titik pengukuran. Data untuk koreksi *terrain* diperoleh dengan cara manual pada saat pengukuran di lapangan yaitu dengan menggunakan *Hammer Chart*, data tersebut berupa selisih ketinggian dari posisi titik pengukuran.

3.3 Perhitungan Anomali Bouguer Lengkap

Perhitungan nilai medan gravitasi observasi diperoleh dari data lapangan yang dikonversi ke dalam satuan mgal dan dikoreksikan dengan koreksi tinggi alat, koreksi pasang surut dan koreksi *drift*. Nilai medan gravitasi teoritis diperoleh dari perhitungan data posisi. Data posisi dihitung menjadi nilai medan gravitasi normal di sferoida, nilai koreksi *free air*, koreksi Bouguer dan koreksi *terrain*. Selisih antara nilai medan gravitasi observasi dan nilai medan gravitasi teoritis adalah nilai anomali Bouguer lengkap di topografi.

Proses perhitungan data dan koreksi dilakukan menggunakan *software Microsoft Excel* 2013. Hasil koreksi dan anomali masing – masing dipetakan menggunakan *Golden Software Surfer 12*.

3.4 Reduksi Bidang Datar

Reduksi bidang datar dilakukan menggunakan program *MATLAB Bidtar Software* yang berdasarkan metode sumber ekuivalen titik massa oleh Dampney (1969). Metode ini mengasumsikan sumber anomali sebagai suatu bidang massa yang berada di bawah permukaan. Dimana semua titik pada bidang massa ini mempengaruhi setiap titik pada ketinggian bidang datar tertentu. Penentuan kedalaman sumber ekuivalen titik massa menggunakan syarat batas pada persamaan (2.24).

Dalam penelitian ini, data yang digunakan memiliki ketinggian rata – rata 989,67 meter, dengan jarak rata – rata antar titik pengukuran sebesar 250 meter, dan ketinggian maksimum sebesar 1132,608 meter. Kemudian data tersebut digunakan sebagai acuan untuk menentukan parameter pada proses reduksi bidang datar. Sehingga pada penelitian ini ditentukan kedalaman bidang ekuivalen (h) adalah 200 meter dan ketinggian bidang datar (z) adalah 1000 meter. Hasil reduksi ke bidang datar berupa nilai anomali Bouguer lengkap di bidang datar. Selanjutnya nilai anomali Bouguer lengkap di bidang datar beserta data posisinya dipetakan menggunakan *Golden Software Surfer 12*.

3.5 Kontinuasi ke Atas

Kontinuasi ke atas bertujuan untuk mentransformasikan data gravitasi pada suatu level permukaan menjadi seolah – olah berada pada level ketinggian tertentu yang lebih tinggi lagi. Hal tersebut berguna untuk menampilkan efek regional yang disebabkan oleh anomali dalam, sehingga hasil yang diperoleh melalui proses kontinuasi ke atas yaitu anomali gravitasi regional.

Ketinggian kontinuasi diperoleh melalui beberapa kali proses kontinuasi pada level ketinggian yang berbeda – beda

hingga tidak ditemukan lagi perubahan pada pola anomali regionalnya. Hal tersebut bertujuan untuk mencari persebaran anomali gravitasi regional yang terbaik. Pada penelitian ini, telah dilakukan proses kontinuasi ke atas pada ketinggian yang bervariasi kemudian dapat ditentukan ketinggian kontinuasi ke atas yang dilakukan pada level ketinggian 300 meter dari batas bidang datar.

Proses kontinuasi ke atas dilakukan menggunakan menu *MAGMAP – Interactive filtering* pada *Software Geosoft Oasis Montaj 6.4.2* dimana proses yang terjadi melalui beberapa tahapan, yaitu mengubah data gravitasi ke dalam domain frekuensi dengan Transformasi Fourier. Kemudian memilih jenis *filter* yang digunakan yaitu *upward continuation* dan mengubah – ubah ketinggian hingga diperoleh anomali regional. Hasil anomali gravitasi regional dapat dipetakan melalui *Golden Software Surfer 12*.

3.6 Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Anomali Bouguer lengkap di bidang datar merupakan anomali gravitasi total yang terdiri dari anomali medan gravitasi regional, anomali medan gravitasi residual dan derau (*noise*). Anomali gravitasi regional disebabkan oleh sumber anomali yang letaknya lebih dalam. Pemisahan anomali diperlukan untuk menentukan anomali gravitasi residual yang disebabkan oleh sumber anomali dangkal.

Untuk menentukan anomali gravitasi residual dapat dihitung melalui selisih antara anomali Bouguer lengkap di bidang datar dengan anomali gravitasi regional. Perhitungan ini dapat dilakukan menggunakan menu *grid – expressions – subtract grid* pada *Software Geosoft Oasis Montaj 6.4.2* dimana proses yang berjalan di dalamnya berupa pengurangan grid anomali Bouguer lengkap di bidang datar dengan grid anomali gravitasi regional. Hasil dari operasi ini yaitu grid anomali gravitasi residual. Selanjutnya data anomali gravitasi residual dipetakan menggunakan *Golden Software Surfer 12*.

3.7 Analisis Struktur

Analisis struktur geologi yang dilakukan menggunakan perhitungan *First Horizontal Derivative (FHD)* dan *Second Vertical Derivative (SVD)*. Aplikasi *FHD* dan *SVD* dari suatu anomali gravitasi ini berguna untuk mengidentifikasi bidang batas sesar serta kontak litologi yang terdapat di daerah penelitian bergantung pada respon *FHD-SVD* nya. Bidang kontak sesar dengan nilai maksimum atau minimum pada penampang *FHD* berkorelasi dengan nilai sama dengan nol pada penampang *SVD*, hasil tersebut dapat diinterpretasikan sebagai bidang batas struktur geologi.

3.8 Pemodelan

Pemodelan dilakukan untuk menggambarkan kondisi geologi sehingga dapat ditampilkan target berupa struktur geologi dan perlapisan di bawah permukaan. Proses pemodelan dilakukan pada setiap penampang yang dibuat pada peta anomali gravitasi regional. Pemodelan menggunakan *Software Geosoft Oasis Montaj 6.4.2* melalui menu GM-SYS. *Software* ini membuat model dengan proses *curve matching* yaitu mencocokkan hasil perhitungan *forward* dari model anomali dengan grafik data pengukuran. Setiap perubahan pada model akan memberikan pengaruh terhadap perhitungan respon.

Parameter yang dimasukkan pada saat pemodelan adalah variasi nilai densitas batuan. Besar nilai densitas batuan diperoleh melalui informasi litologi daerah penelitian. Parameter tersebut diubah sedemikian rupa sehingga mendapatkan kurva yang cocok antara model yang telah dibuat dengan respon anomalinnya.

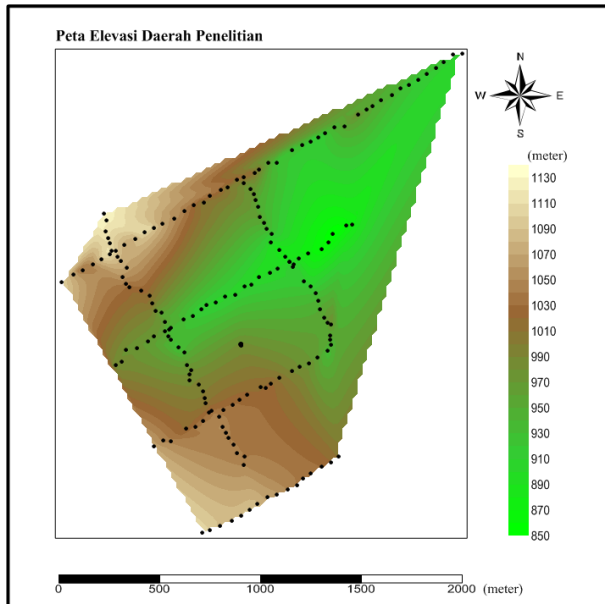
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Topografi Daerah Penelitian

Pada peta elevasi daerah penelitian gambar 4.1 menunjukkan korelasi antara elevasi dengan kenampakan morfologi suatu daerah penelitian untuk dilakukan pengukuran data. Dari peta kontur yang telah ditunjukkan diketahui bahwa daerah penelitian menunjukkan dominasi daerah perbukitan di bagian tenggara dan barat daya dengan ditunjukkan dengan warna coklat. Hal ini juga diketahui dari informasi geologi bahwa daerah penelitian terletak di daerah yang memiliki dataran tinggi dan dekat dengan Gunung Pongkor.



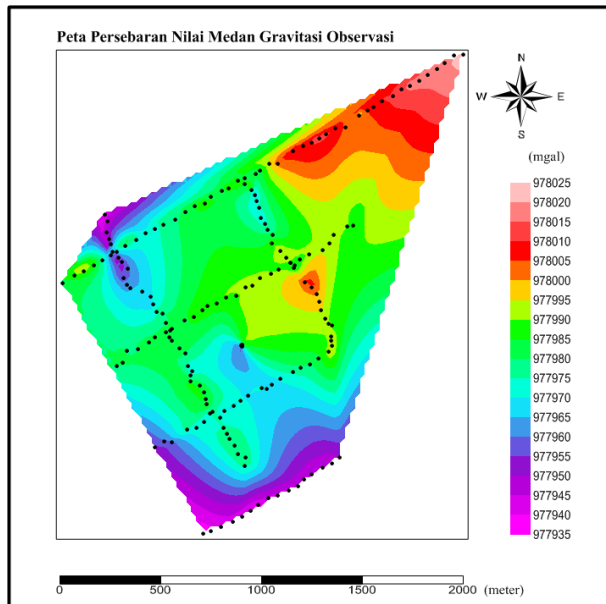
Gambar 4.1 Peta elevasi daerah penelitian

Adapun dari peta kontur diketahui elevasi tertinggi di daerah penelitian adalah 1132,608 meter. Elevasi tinggi ditandai dengan

warna coklat hingga putih pada peta. Elevasi terendahnya adalah 848,4829 meter. Elevasi rendah ditandai dengan warna hijau pada peta. Titik pengukuran untuk pengambilan data dilakukan di kawasan pertambangan milik PT. ANTAM (Persero) Tbk. Data koordinat dan elevasi yang didapat dalam penelitian selanjutnya digunakan dalam proses perhitungan nilai medan gravitasi teoritis.

4.2 Medan Gravitasi Observasi

Nilai medan gravitasi observasi didapatkan dari konversi pembacaan skala alat ke nilai mgal yang telah dikoreksikan dengan koreksi pasang surut untuk mengurangi pengaruh gaya gravitasi bumi, bulan, dan matahari serta dilakukan koreksi *drift* untuk menghilangkan *noise* (gangguan) yang disebabkan oleh alat pada saat dilakukan pengambilan data.



Gambar 4.2 Peta persebaran nilai medan gravitasi observasi

Nilai medan gravitasi observasi dapat diketahui dengan melakukan pengikatan dengan titik referensi yang telah diketahui nilai medan gravitasi mutlak. Nilai medan gravitasi mutlak pada titik referensi ini digunakan sebagai acuan dalam penentuan nilai medan gravitasi observasi. Adapun nilai medan gravitasi mutlak adalah 977.969,930 mgal.

Pola persebaran nilai medan gravitasi observasi relatif rendah pada bagian utara – tenggara. Hal ini ditandai dengan warna hijau – ungu. Nilai medan gravitasi observasi rendah adalah 977.934,769 mgal. Sedangkan nilai medan gravitasi observasi yang relatif tinggi ditunjukkan pada arah timur laut dengan warna merah yang nilainya adalah 978.024,069 mgal.

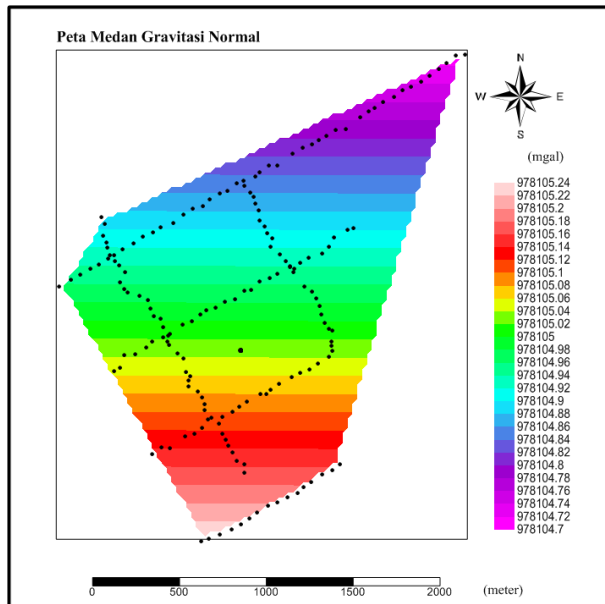
Dari hasil analisis yang didapat dari peta kontur nilai medan gravitasi observasi yang telah ditunjukkan diketahui bahwa nilai medan gravitasi observasi memiliki nilai yang berbanding terbalik dengan pola persebaran nilai elevasi daerah penelitian. Titik pengukuran yang memiliki elevasi tinggi akan memiliki nilai medan gravitasi observasi yang relatif rendah. Begitu pula sebaliknya, pada titik pengukuran yang memiliki elevasi rendah diketahui nilai medan gravitasinya bernilai tinggi. Hal ini sesuai dengan Hukum Newton tentang gravitasi. Pada Hukum Newton menyatakan bahwa nilai medan gravitasi suatu benda akan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak benda ke sumber gravitasi.

4.3 Medan Gravitasi Normal

Pada peta kontur yang ditunjukkan pada gambar 4.3 medan gravitasi normal menunjukkan nilai medan gravitasi pada bagian selatan lebih tinggi dibandingkan dengan nilai medan gravitasi pada bagian utara. Dalam pencarian nilai medan gravitasi normal di sferoida ini berdasarkan koreksi lintang dari daerah penelitian sehingga hasilnya akan menunjukkan perbedaan di tiap ketinggian daerah sesuai dengan lintangnya. Adapun nilai medan gravitasi normal terendah ditunjukkan dengan nilai 978.105,2419 mgal ditandai dengan warna ungu dan nilai gravitasi tertinggi adalah

978.104,7079 mgal ditandai dengan warna merah - putih. Daerah penelitian ini berada di selatan ekuator sehingga nilai medan gravitasi normal semakin meningkat ke arah selatan seiring dengan meningkatnya posisi lintang.

Semakin meningkatnya nilai gravitasi yang berbanding lurus dengan meningkatnya posisi lintang dikarenakan nilai medan gravitasi normal dihitung berdasarkan posisi titik pengukuran. Bentuk bumi yang tidak bulat sempurna menyebabkan perbedaan jari-jari bumi yang berada di daerah ekuator dan di daerah kutub. Perbedaan tersebut menyebabkan nilai medan gravitasi berbeda di tiap lintangnya. Daerah yang berada pada lintang rendah (dekat dengan ekuator) akan memiliki nilai medan gravitasi normal yang lebih rendah dibandingkan dengan daerah yang berada pada lintang tinggi (dekat dengan kutub).

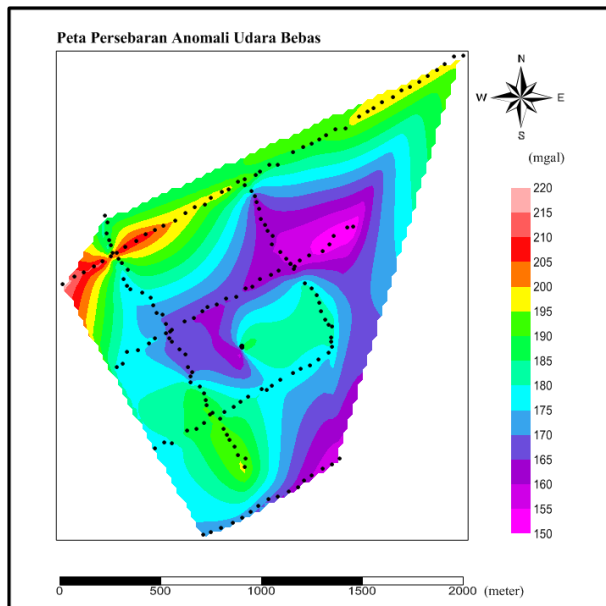


Gambar 4.3 Peta persebaran nilai medan gravitasi normal

4.4 Anomali Udara Bebas

Besarnya nilai gravitasi dipengaruhi oleh perbedaan titik pengukuran yang bervariasi. Hal ini dikarenakan nilai gravitasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak sehingga semakin tinggi titik ukur maka semakin kecil nilai gravitasinya. Oleh karena itu diperlukan sebuah koreksi untuk mereduksi pengaruh ketinggian titik pengamatan terhadap data gravitasi. Adapun koreksi yang dapat digunakan adalah koreksi udara bebas.

Koreksi udara bebas dihitung berdasarkan nilai elevasi titik pengukuran. Pada koreksi bebas tidak memperhitungkan adanya massa di antara sferoida dan posisi titik pengukuran di topografi. Pada setiap kenaikan elevasi 1 meter nilai koreksi udara bebas akan berkurang sebesar 0,3086 mgal.

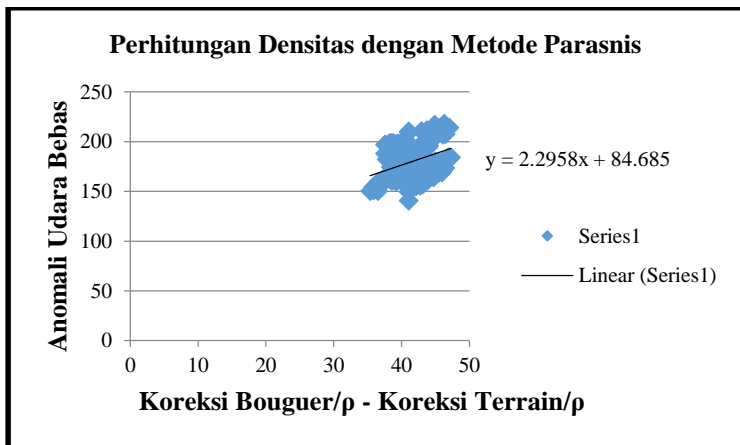


Gambar 4.4 Peta persebaran anomali udara bebas

Pada gambar 4.4 menunjukkan pola persebaran anomali udara bebas di daerah penelitian. Peta persebaran anomali udara bebas berkorelasi positif dengan peta elevasi daerah penelitian. Nilai anomali udara bebas terendah adalah 140.683 mgal yang diketahui dari peta kontur terletak di bagian tengah penelitian dan nilai anomali udara bebas tertinggi adalah 217.843 mgal yang diketahui dari peta kontur terletak pada bagian barat di daerah penelitian.

4.5 Penentuan Densitas Rata-rata

Faktor densitas sangat penting peranannya dalam perhitungan dan penafsiran nilai gravitasi. Densitas yang digunakan dalam perhitungan data gravitasi merupakan densitas rata-rata daerah penelitian. Adapun dalam penelitian ini menggunakan metode Parasnis yang dimana menunjukkan grafik hubungan antara anomali udara bebas dengan selisih dari koreksi Bouguer dan koreksi *Terrain* per satuan densitas. Adapun nilai densitas rata-rata yang didapat tidak berkorelasi dengan perubahan topografi, sehingga efek topografi sudah tidak mempengaruhi anomali gravitasi.

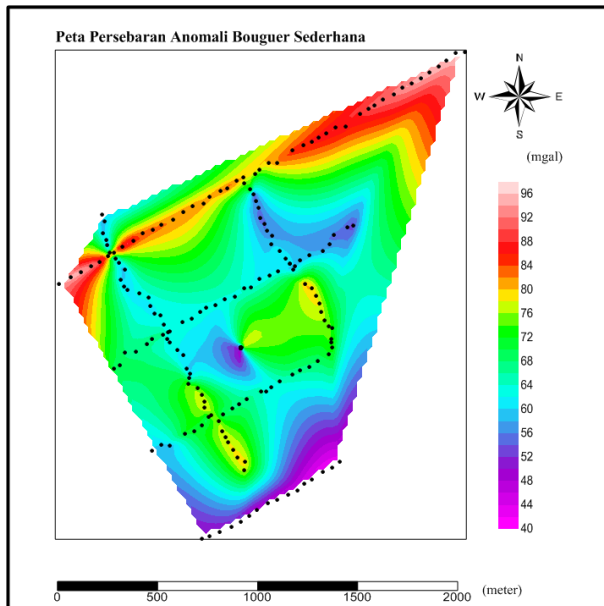


Gambar 4.5 Grafik hasil perhitungan nilai densitas rata-rata

Pada gambar 4.5 menunjukkan grafik hasil perhitungan nilai densitas rata-rata pada daerah penelitian. Adapun hasil penentuan menggunakan metode Parasnisi menunjukkan densitas rata-rata daerah penelitian adalah $2,296 \text{ gr/cm}^3$. Nilai densitas yang diperoleh ini dianggap telah mewakili densitas Bouguer daerah penelitian.

4.6 Anomali Bouguer Sederhana

Dalam melakukan koreksi udara bebas massa yang terletak di antara titik ukur dengan bidang referensi diabaikan. Oleh karena itu dibutuhkan koreksi yang dapat menghilangkan efek massa yang ada di antara titik ukur dengan bidang referensi tersebut koreksi ini dinamakan koreksi Bouguer. Koreksi Bouguer dihitung dengan menggunakan densitas rata-rata batuan yang ditemukan di daerah penelitian.



Gambar 4.6 Peta persebaran anomali Bouguer sederhana

Gambar 4.6 menunjukkan peta persebaran anomali Bouguer sederhana yang tidak lagi berkorelasi dengan persebaran anomali udara bebas maupun elevasi dari daerah penelitian sehingga peta kontur yang ditunjukkan pun memiliki pola kontur yang berbeda. Dari peta diketahui bahwa anomali rendah terjadi bagian tenggara di daerah penelitian yang ditandai dengan warna ungu. Sedangkan anomali tinggi yang ditandai dengan warna merah berada di bagian barat daya dan timur laut di daerah penelitian. Nilai anomali terendah sebesar 30,725 mgal dan anomali tertingginya sebesar 100,177 mgal.

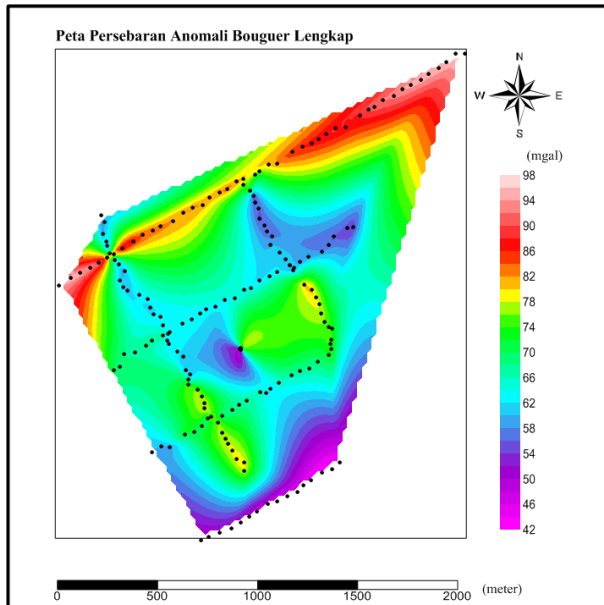
4.7 Anomali Bouguer Lengkap

Dari hasil perhitungan yang didapatkan pada anomali Bouguer sederhana diasumsikan bahwa massa di antara titik pengukuran di topografi dan bidang referensi berupa *slab* tak terhingga. Akan tetapi, pada kenyataannya, daerah penelitian memiliki permukaan yang tidak datar sehingga adanya perbedaan topografi sehingga keberadaan lembah dan bukit harus diperhatikan. Sehingga diperlukan koreksi medan (*terrain*) untuk mengurangi adanya efek dari massa di sekitar titik pengukuran.

Pada gambar 4.7 menunjukkan peta persebaran anomali Bouguer lengkap di topografi dimana anomali ini telah dikoreksi dengan koreksi *terrain*. Adapun pola yang ditunjukkan pada anomali Bouguer lengkap memiliki pola sebaran yang sama dengan anomali Bouguer sederhana. Hal ini menunjukkan bahwa efek yang diberikan dari koreksi *terrain* tidak terlalu mempengaruhi anomali Bouguer. Akan tetapi, meskipun nilai yang dihasilkan dari koreksi *terrain* cukup kecil dan tidak memberikan efek yang terlalu, apabila koreksi ini diabaikan maka akan mempengaruhi interpretasi data. Adapun nilai anomali Bouguer lengkap tertinggi yang diketahui dari peta kontur adalah 30,830 mgal dan nilai terendahnya adalah 100,281 mgal.

Dalam penelitian metode gravitasi ini nilai anomali Bouguer lengkap akan sangat diperlukan dalam penentuan struktur bawah

permukaan dalam tahap interpretasi, baik itu interpretasi kualitatif maupun kuantitatif.



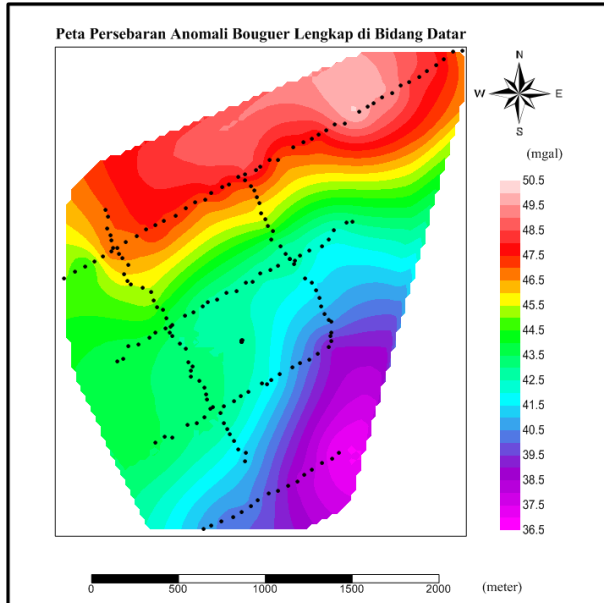
Gambar 4.7 Peta persebaran anomali Bouguer lengkap di topografi

4.8 Anomali Bouguer Lengkap di Bidang Datar

Peta anomali Bouguer yang didapatkan dari hasil perhitungan masih berada di topografi. Data dari pengukuran memungkinkan adanya distorsi data akibat jarak yang bervariasi ke sumber anomali. Sehingga perlu diproyeksikan ke suatu bidang datar tertentu untuk meminimalkan distorsi data gravitasi akibat ketinggian yang bervariasi. Adapun proyeksi ke bidang datar yang digunakan adalah dengan menggunakan metode sumber ekuivalen titik massa *Dampney*.

Data anomali gravitasi yang tidak teratur dan pada ketinggian yang bervariasi dibuat suatu sumber ekuivalen titik massa diskrit pada bidang datar dengan kedalaman tertentu. Pada penelitian ini

menggunakan proyeksi ke bidang datar dengan ketinggian 1500 mdpl.



Gambar 4.8 Peta persebaran anomali Bouguer lengkap di bidang datar

Hasil dari proses reduksi ke bidang datar adalah peta persebaran anomali gravitasi di bidang datar yang ditunjukkan oleh gambar 4.8. Pola persebaran anomali yang ditunjukkan dalam peta persebaran memiliki pola kontur yang sama dengan pola anomali Bouguer di topografi dengan data yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan anomali Bouguer lengkap sebelum tereduksi. Hal ini menunjukkan bahwa anomali tidak dipengaruhi oleh topografi secara signifikan. Anomali gravitasi di bidang datar memiliki kontur yang lebih halus dan merata. Apabila dibandingkan dengan nilai anomali Bouguer di topografi, maka *range* nilai anomali pada bidang datar lebih kecil yakni berkisar

antara 36,5 mgal hingga 50,5 mgal. Hal ini dikarenakan distorsi akibat topografi yang tidak homogen sudah diminimalkan. Sehingga selisih anomali Bouguer pada bidang datar relatif kecil.

4.9 Kontinuasi ke Atas

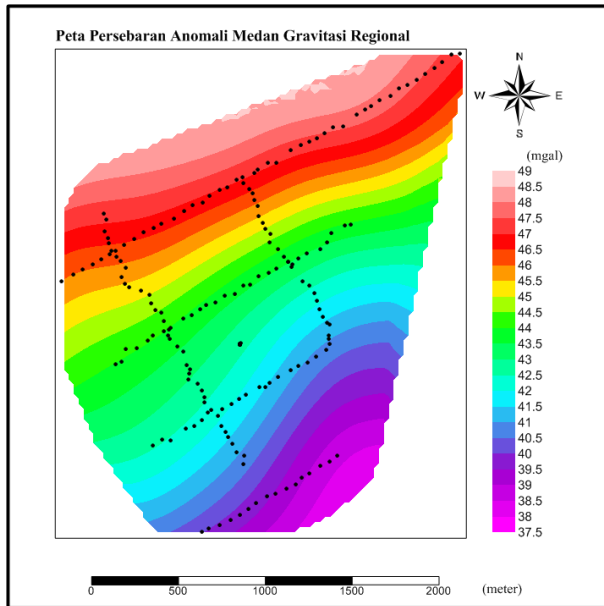
Data anomali yang dihasilkan merupakan data campuran dari anomali regional dan anomali residual, sehingga data yang telah direduksi ke bidang datar perlu dilakukan pemisahan untuk memisahkan anomali regional dan anomali residual. Adapun metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode pemisahan kontinuasi ke atas (*upward continuation*). Metode ini digunakan untuk menghilangkan efek lokal sehingga yang didapat adalah kecenderungan anomali regionalnya saja. Hasil yang diperoleh kemudian dikurangkan terhadap anomali Bouguer lengkap yang telah tereduksi pada bidang datar sehingga diperoleh anomali Bouguer lengkap residual yang siap diinterpretasi.

Proses kontinuasi ke atas adalah langkah perubahan data medan potensial yang diukur pada suatu level permukaan menjadi data yang seolah-olah diukur pada permukaan yang lebih atas. Metode ini juga dapat dijadikan metode yang berguna sebagai *filter* untuk menghilangkan *noise* yang ditimbulkan oleh benda-benda dekat permukaan.

Hasil yang didapat dari metode kontinuasi ke atas adalah anomali regional. Anomali regional merupakan anomali yang berasal dari sumber yang sangat dalam, berukuran besar dan biasanya berhubungan dengan lempeng tektonik sehingga anomali regional dapat menggambarkan keadaan bawah permukaan (*subsurface*).

Peta persebaran anomali medan gravitasi regional ditunjukkan pada gambar 4.9 yang memiliki sebaran nilai 37.5 mgal hingga 49 mgal. Dari peta kontur anomali medan gravitasi regional memiliki pola persebaran yang sama dengan anomali Bouguer lengkap di bidang datar. Akan tetapi pada gambar 4.9 menunjukkan kontur yang lebih halus. Nilai anomali tinggi terletak di bagian utara

hingga barat daerah penelitian dengan ditunjukkan dengan warna merah. Sedangkan nilai anomali rendah terletak di bagian selatan penelitian dengan ditunjukkan dengan warna ungu. Nilai anomali yang relatif tinggi ini diduga sebagai respon dari adanya Gunung Pongkor di bagian utara daerah penelitian.



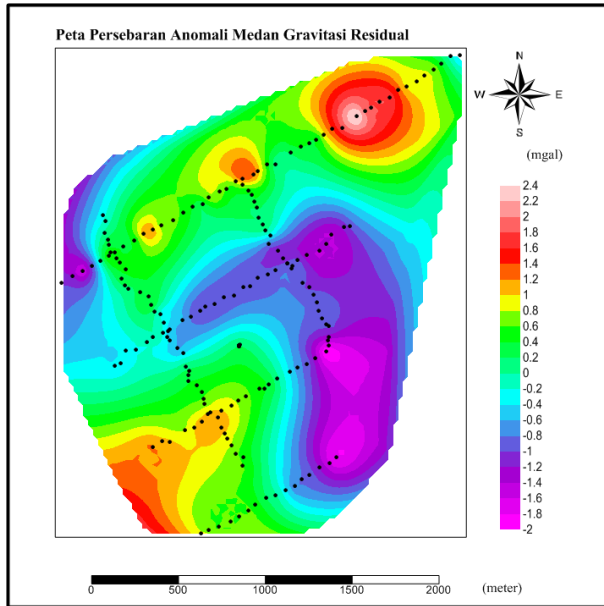
Gambar 4.9 Peta persebaran anomali medan gravitasi regional

4.10 Pemisahan Anomali Gravitasi Regional dengan Residual

Dalam melakukan proses interpretasi bawah permukaan daerah penelitian dibutuhkan kedalaman yang dangkal. Hal ini dikarenakan pada kedalaman yang cukup dangkal telah mengalami proses erosi dan deformasi batuan. Sehingga diperlukan anomali residual untuk mengidentifikasi bawah permukaan tersebut.

Anomali residual merupakan anomali lokal yang berada di daerah penelitian. Sehingga hasil dari anomali residual ini dapat digunakan untuk menjelaskan struktur geologi di sekitar

permukaan. Anomali ini diperoleh dari selisih antara anomali Bouguer dengan anomali regional. Hasil persebaran anomali residual ditunjukkan pada gambar 4.10.



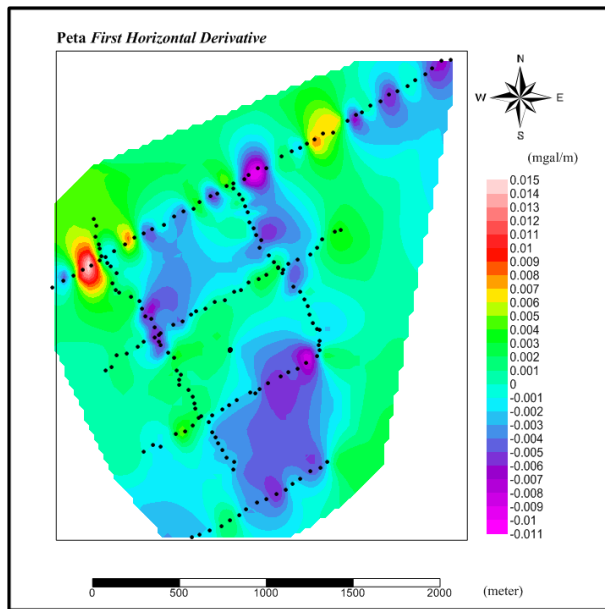
Gambar 4.10 Peta persebaran anomali medan gravitasi residual

Anomali residual daerah penelitian memiliki jangkauan nilai dari -2 mgal hingga 2,4 mgal. Rentang nilai yang cukup kecil pada anomali medan gravitasi residual ini dikarenakan batuan penyusun daerah penelitian didominasi batuan yang hampir seragam yakni batuan beku.

4.11 Analisis Derivatif

Analisis derivatif untuk menentukan struktur geologi bawah permukaan dengan menggunakan metode *first horizontal derivative (FHD)* dan *second vertical derivative (SVD)*. Nilai dari *FHD* anomali medan gravitasi merupakan perubahan nilai anomali medan gravitasi dari satu titik ke titik lainnya secara horizontal

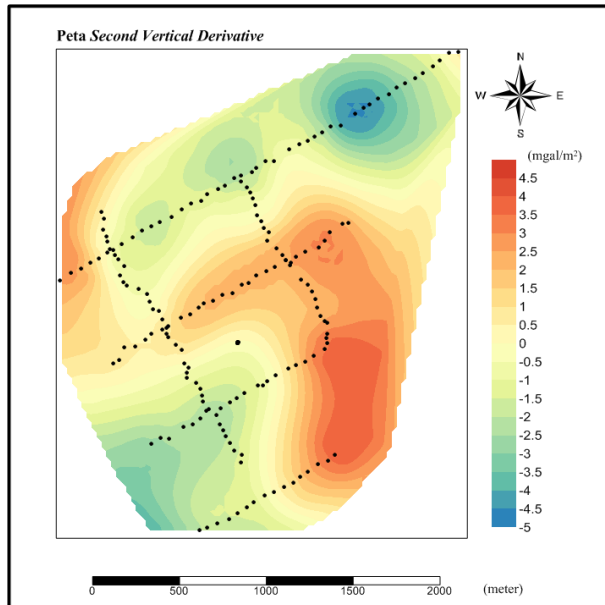
dengan jarak tertentu yang dapat digunakan untuk menunjukkan suatu struktur geologi berdasarkan anomali medan gravitasi. Sedangkan *SVD* anomali medan gravitasi dilakukan untuk memunculkan efek dangkal dari pengaruh regionalnya yang digunakan untuk mendeteksi jenis struktur patahan normal atau patahan naik. Nilai *FHD* yang maksimum-minimum yang dalam penentuan struktur geologi bawah permukaan dikorelasikan dengan menggunakan peta hasil *SVD* yang menunjukkan nilai nol diduga akan adanya batas litologi dalam daerah penelitian.



Gambar 4.11 Peta *first horizontal derivative*

Hasil perhitungan dengan menggunakan metode *FHD* dilakukan pada arah 0° , 45° , 90° , dan 135° . Dari gambar 4.11 menunjukkan jangkauan nilai dari -0.011 mgal/m hingga 0.015 mgal/m. Peta kontur *FHD* yang sudah diplotkan kemudian dikorelasikan dengan peta dari *SVD* agar dapat ditentukan batas struktur geologinya.

Hasil analisa derivatif turunan kedua dengan menggunakan metode Elkins ditunjukkan pada gambar 4.12. Dari peta kontur yang ditunjukkan adapun diketahui jangkauan nilai dari hasil perhitungannya adalah -5 mgal/m^2 hingga $4,5 \text{ mgal/m}^2$.



Gambar 4.12 Peta *second vertical derivative*

Dari hasil pengamatan melalui peta kontur *SVD* yang dikorelasikan dengan peta *FHD*, pada bagian barat laut hingga menerus ke bagian tenggara daerah penelitian terdapat nilai yang sama dengan nol dimana pada daerah ini diperkirakan adanya sesar. Keberadaan sesar ini juga ditemukan pada informasi geologi yang menyatakan bahwa sesar ini menjadi bagian dari sesar Capek Kawung dan sesar Kubang Cicau dimana jika dikorelasikan dengan data geologi yang dimiliki oleh PT. ANTAM (Persero) Tbk, sesar Capek Kawung dan sesar Kubang Cicau merupakan sesar naik.

Pada bagian timur laut pada peta *SVD* yang berarah memanjang hingga ke arah barat daya menunjukkan kelurusan yang memiliki nilai sama dengan nol. Pada daerah ini diperkirakan adanya sesar pada bagian ini. Hal ini juga dapat dikorelasikan dengan data geologi bahwa pada arah timur laut – barat daya ditemukan sesar geser yang menurun.

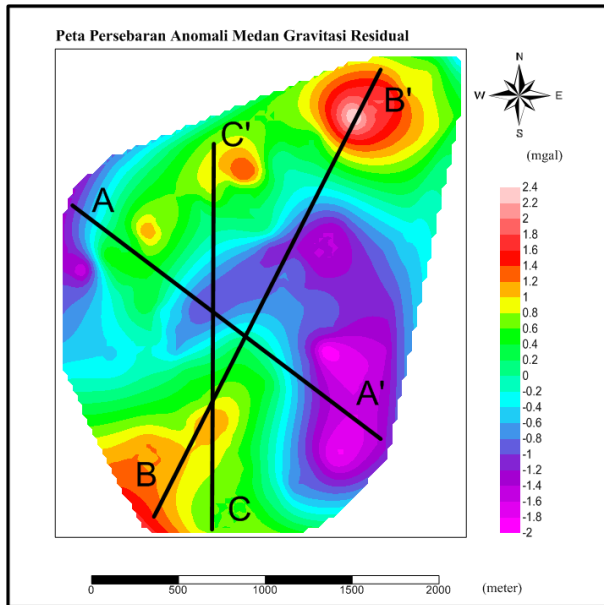
4.12 Pemodelan 2,5 D

Untuk mengetahui kondisi bawah permukaan daerah penelitian dapat dengan menggunakan pemodelan 2,5 D yang kemudian dikorelasikan dengan analisis peta hasil *FHD* dan *SVD* yang juga didukung dengan data geologi. Adapun dalam melakukan pemodelan pada daerah penelitian menggunakan data dari anomali residual. Dalam pemodelan ini menggunakan tiga sayatan.

Dari hasil pemodelan pada daerah penelitian yang didasari dari data geologi dapat diketahui bahwa adanya pengendapan vulkanik dari Gunung Pongkor dengan urutan batuan beku yang berumur tersier, terdiri dari breksi tuf, tuf lapilli, dan intrusi terbentuk karena adanya andesit yang menerobos breksi tuf dan tuf lapilli. Intrusi andesit ini terbentuk bersamaan dengan breksi vulkanik yang berumur kuartar.

Dari hasil pemodelan yang sudah dilakukan menunjukkan adanya lima penyusun batuan yang dominan dalam menjadi sumber anomali di daerah penelitian. Adapun densitas batuan yang ditemukan ini antara lain breksi tuf sekitar $2,55 \text{ gr/cm}^3$, tuf lapili sekitar $2,4 \text{ gr/cm}^3$, breksi dasit sekitar $2,65 \text{ gr/cm}^3$, dan intrusi andesit sekitar $2,85 \text{ gr/cm}^3$.

Dari hasil pemodelan pada sayatan $A - A'$ yang ditunjukkan pada gambar 4.14 menunjukkan lima batuan penyusun daerah penelitian. Adapun urutan batuan penyusun itu mulai dari breksi dasit, tuf, tuf lapilli, dan breksi serta ditemukan adanya intrusi andesit yang ditemukan pada jarak sekitar 700 meter dari permukaan sayatan $A - A'$. Dugaan adanya intrusi ini ditunjukkan dengan adanya puncak anomali yang tinggi.



Gambar 4.13 Peta sayatan daerah pemodelan

Dari hasil pemodelan B – B' yang ditunjukkan pada gambar 4.15 menunjukkan kemiripan dengan sayatan A – A'. Pada jarak sekitar 700 meter dari permukaan sayatan B – B' ditemukan adanya anomali yang tinggi sehingga dapat diinterpretasikan sebagai dugaan adanya intrusi. Intrusi ini menerobos batuan tuf.

Hasil pemodelan pada sayatan C – C' yang ditunjukkan pada gambar 4.16 menunjukkan dominasi empat batuan penyusun yakni breksi dasit, tuf, lapilli dan breksi tuf. Dari hasil pemodelan juga menunjukkan adanya dugaan 2 sesar dari hasil sayatan C – C'. Pada jarak sekitar 500 meter dan 1500 meter dari sayatan C – C' diperkirakan adanya sesar menurun.

Berdasarkan hasil interpretasi yang dilakukan pada pemodelan di beberapa sayatan menunjukkan adanya intrusi dan sesar di daerah penelitian. Struktur geologi berupa sesar dan adanya intrusi batuan yang menjadi sumber panas pada proses

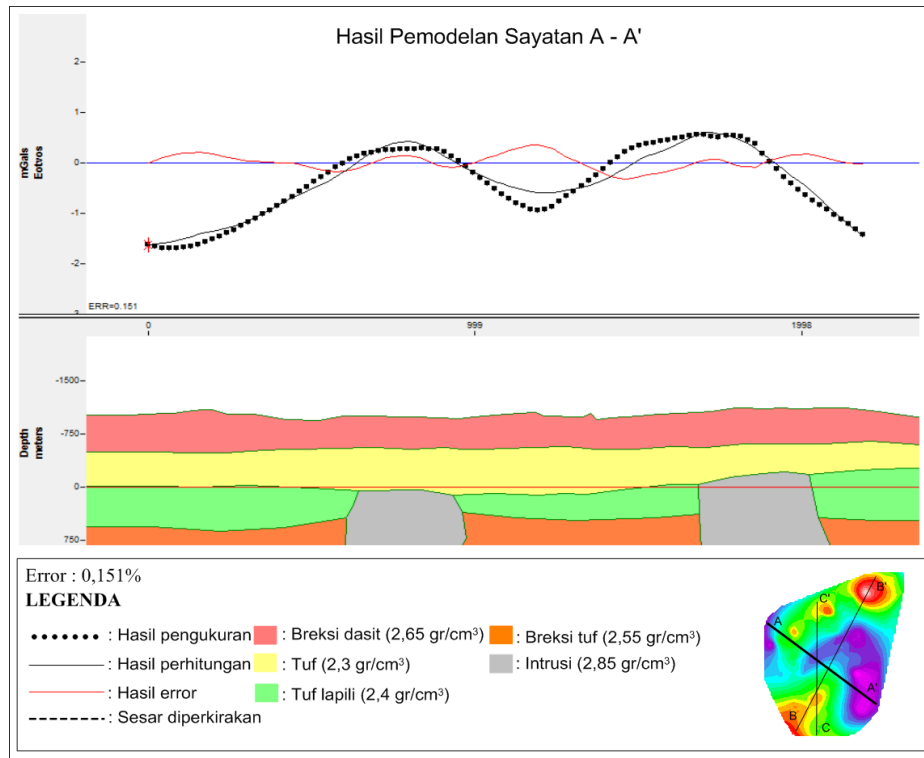
alterasi mendukung adanya mekanisme mineralisasi pada daerah penelitian.

4.13 Analisis Potensi Mineral Emas Daerah Penelitian

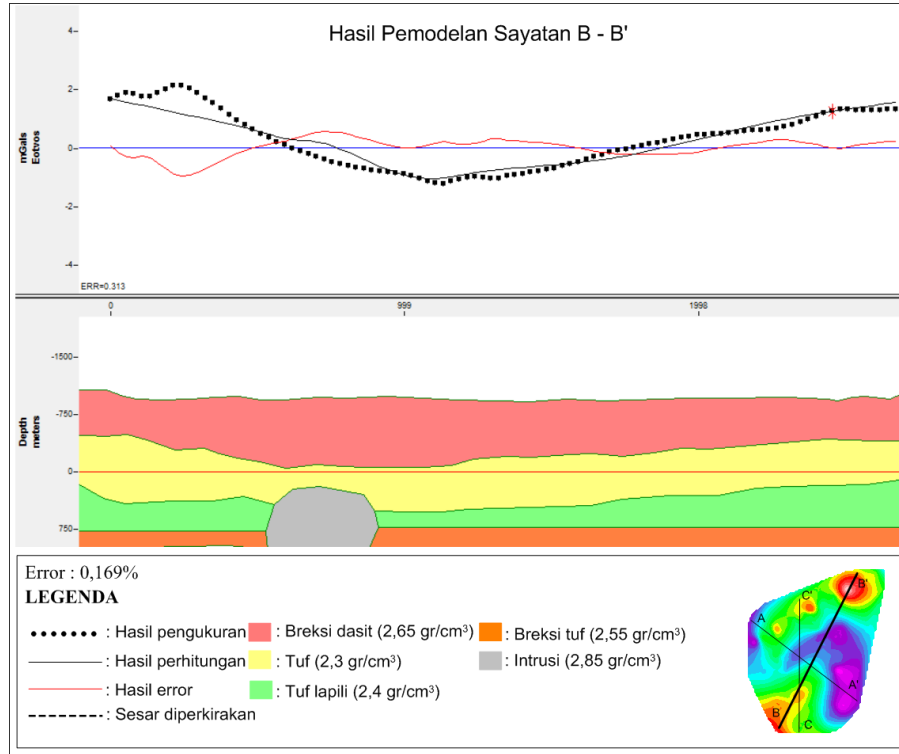
Dari hasil yang telah ditunjukkan pada peta kontur anomali residual dan hasil pemodelan di beberapa sayatan di daerah penelitian menunjukkan adanya anomali gravitasi yang bernilai tinggi yang diduga sebagai adanya intrusi. Selanjutnya jika dihubungkan dengan hasil analisis struktur dari peta *FHD* dan *SVD* ditemukan dugaan adanya sesar yang kemudian diperkuat dengan adanya informasi geologi dari daerah penelitian. Hal ini menunjukkan dugaan adanya proses mineralisasi di daerah penelitian. Intrusi sendiri diketahui memiliki peranan penting dalam proses eksplorasi mineral yakni sebagai sumber panas yang mengandung mineral logam dan sebagai tempat yang baik dalam proses mineralisasi jika bertekstur porfiritik.

Adapun intrusi yang ditemukan dalam hasil pemodelan menunjukkan kedalam yang cukup dangkal dari permukaan topografi yakni sekitar 1000 meter dari permukaan. Keberadaan intrusi ini ditunjukkan dengan adanya anomali yang tinggi. Adapun intrusi sendiri menerobos hingga sampai ke permukaan melalui permeabilitas primer batuan dan melalui permeabilitas sekunder dengan mengisi struktur geologi berupa sesar yang ada di daerah penelitian.

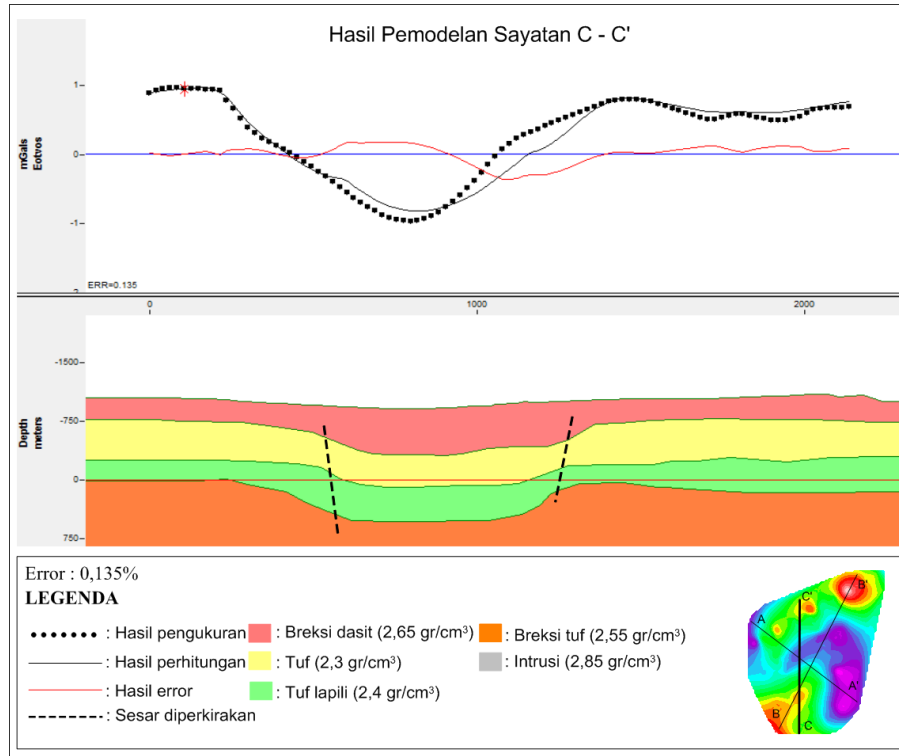
Selain itu ditemukannya dugaan adanya sesar pada bagian timur laut – barat daya yang merupakan sesar menurun serta sesar yang menerus dari barat daya – tenggara yang ditandai dengan adanya anomali rendah menunjukkan adanya potensi terjadinya mineralisasi di daerah penelitian.



Gambar 4.14 Hasil pemodelan sayatan A – A'



Gambar 4.15 Hasil pemodelan sayatan B – B'



Gambar 4.16 Hasil pemodelan sayatan C – C'

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil yang diperoleh dari penelitian menggunakan metode gravitasi di Lapangan “A” berdasarkan pemodelan anomali residual maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil anomali gravitasi residual menunjukkan adanya anomali tinggi yang diperkirakan sebagai adanya intrusi batuan andesit dan adanya sesar yang ditunjukkan pada daerah penelitian.
2. Batas struktur geologi dengan analisa *FHD* dan *SVD* menunjukkan adanya sesar yang menerus dari arah timur laut – barat daya dan barat laut – tenggara.
3. Berdasarkan hasil pemodelan yang diperoleh didapatkan lima lapisan penyusun batuan di daerah penelitian, yakni breksi tuf 2,55 gr/cm³, tuf lapilli 2,40 gr/cm³, tuf 2,3 gr/cm³, breksi dasit 2,65 gr/cm³, serta ditemukan adanya intrusi andesit dengan densitas 2,85 gr/cm³.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang dapat disampaikan untuk pengembangan penelitian dalam proses eksplorasi atau studi lainnya yaitu sebagai berikut:

1. Melakukan penelitian lanjutan dengan luas area yang diperlebar ke arah utara, barat, dan timur daerah penelitian. Hal ini didasarkan pada peta geologi yang menunjukkan adanya sesar-sesar yang berada di bagian luar daerah penelitian sehingga dapat diperkirakan sebagai adanya zona mineralisasi.
2. Hasil penelitian juga dapat dihubungkan dengan menggunakan penelitian di daerah yang sama dengan

- menggunakan pengolahan data geofisika yang lain sehingga hasil akurasi dapat diperhitungkan lebih baik.
3. Dalam pengolahan data gravitasi ini dapat juga dilakukan dengan menggunakan metode pemisahan anomali regional dan residual yang lain seperti *moving average* atau *polynomial*.

DAFTAR PUSTAKA

- Basuki, A., Sumanagara, D. A. dan Sinambela, D., 1994. The Gunung Pongkor gold-silver deposit, West Java, Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration*, Volume 50, pp. 371-391
- Blakely, R. J., 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Charlie, J. C. dan Mitchell, A. H. G., 1994. Magmatic Arcs and Associated Gold and Copper Mineralization in Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration*, Maret, 50(1-3), pp. 91 - 142.
- Corbett, G., 2009. Geological Models in Epithermal
- Dampney, C. N. G., 1969. The Equivalent Source Technique. *Geophysics*, Volume 34, pp. 39-53.
- Dermawan, A., 2010. *Rekonseptualisasi dan Pemrograman Reduksi Data Gravitasi Serta Pemetaan ke Koordinat Teratur (Gridding) Menggunakan Bahasa Pemrograman Visual Basic*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Elbur, E., 2013. *Peta Litologi Gn. Pongkor, Kabupaten Bogor, Jawa Barat*, Jakarta Selatan: PT. ANTAM (Persero) Tbk. Unit Geomin.
- Elkins, T. A., 1950. The Second Derivative Method of Gravity Interpretation. *European Association of Exploration Geophysics (EAEG) 16*, pp. 29-50.
- Febriyana, R. D., Aribowo, Y. dan Widiarsono, D. A., 2014. *Geologi dan Alterasi Hidrotermal Daerah Bantar Karet dan Sekitarnya, Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat*, Semarang: Universitas Diponegoro.

- Grandis, H. 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika Himpunan Ahlis Geofisika (HAGI)*. Jakarta.
- Hadhary, Ridhotul Ghiaz. 2016. *Identifikasi Struktur Geologi dan Tubuh Intrusi Sebagai Zona Prospek Mineralisasi Menggunakan Metode Gravitasi di Lapangan "Hijau", Daerah Pongkor*. Yogyakarta: Geofisika-FMIPA Universitas Gadjah Mada.
- Hamilton, W. B., 1979. *Tectonics of the Indonesian Regions*. Washington: U.S. Government Printing Office.
- Hammer, S., 1939. *Terrain Correction for Gravimeter Stations*. SEG License or copyright.
- Hartati, Anita. 2012. *Identifikasi Struktur Patahan Berdasarkan Analisa Derivative Metode Gayaberat di Pulau Sulawesi*. Depok: Fisika-FMIPA Universitas Indonesia.
- Latifah, Iif. 2010. *Penentuan Anomali Bouguer dan Densitas Rata-Rata Batuan Berdasarkan Data Gravitasi di Daerah Semarang*. Jakarta: Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Menke, William. 1984. *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*. Oregon: College of Oceanography Oregon State University.
- Nurchayati, Elena. 2016. *Analisis Spektrum Data Gravitasi Pada Daerah Potensi Emas Pongkor, Jawa Barat*. Yogyakarta: Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga.
- Pulunggono dan Matrdjojo, S. 1994. *Perubahan Tektonik Paleogen-Neogen Merupakan Peristiwa Tektonik Terpenting di Jawa*. Proceeding Geologi dan Geotektonik Pulau Jawa, pp. 37-50.

- Purnomo, Soerja Koesuma, Mohtar Yunianto. 2013. *Pemisahan Anomali Regional-Residual pada Metode Gravitasi Menggunakan Metode Moving Average, Polynomial, dan Inversion*. Jurnal Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret Surakarta. ISSN: 2089-0133.
- Rofiqul, Muhammad A'la. 2016. *Pemodelan Anomali Gravitasi Daerah Manifestasi Panasbumi Parangwedang Bantul DIY*. Yogyakarta: Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeeri Sunan Kalijaga.
- Supriyanto, 2007. *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi*. Departemen Fisika-FMIPA Universitas Indonesia, Depok.
- Telfrod, M.W., Geldart, L.P., dkk. 1976. *Appllied Geophysics*. New York: Cambridge Univeristy Press.
- Winda, Kurniasari. 2014. *Identifikasi Litologi Bawah Permukaan Gunung Welirang dengan Menggunakan Metode Gaya Berat*. Malang: FMIPA Universitas Negeri Malang.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A

Data Penelitian

Line	Stasiun	Gravitasi Observasi (mgal)	Elevasi (meter)	Gravitasi Normal (mgal)	Koreksi Udara Bebas (mgal)	Anomali Udara Bebas (mgal)	Koreksi Bouguer (mgal)	Anomali Bouguer Sederhana (mgal)	Koreksi Terrain (mgal)	Anomali Bouguer Lengkap (mgal)
	BASE	977969.93	984.056265	978105.0321	-303.5814	168.47918	109.95796	58.52122322	0.10475192	58.62597514
CPK-825	-4150	977989.792	908.1329423	978104.9657	-280.159	164.98534	101.47432	63.51101965	0.2705578	63.78157745
	-4200	977991.4322	902.1521116	978104.9671	-278.3139	164.77903	100.80603	63.97299979	0.15690552	64.12990531
	-4250	977989.3621	910.1744758	978104.9766	-280.7888	165.17427	101.70244	63.47182582	0.15577388	63.6275997
	-4300	977990.1013	906.1936451	978104.9787	-279.5607	164.68336	101.25762	63.42573184	0.19346679	63.61919863
	-4350	977990.1891	905.2160094	978104.9858	-279.2591	164.46242	101.14838	63.31403331	0.14242591	63.45645922
	-4400	977989.6684	908.2351787	978104.9887	-280.1906	164.87017	101.48574	63.38442963	0.0380998	63.42252942
	-4450	977989.2521	907.2511531	978104.9932	-279.887	164.14586	101.37579	62.77006494	0.17404506	62.94411
	-4500	977987.2904	916.2767122	978105.0004	-282.6714	164.96144	102.3843	62.57714246	0.27111588	62.84825835
	-4550	977982.0282	939.2990765	978105.0043	-289.7738	166.79772	104.95681	61.84090855	0.23229134	62.07319989
	-4600	977984.5069	935.3501947	978105.0142	-288.5555	168.0483	104.51556	63.5327354	0.23342297	63.76615837
	-4650	977982.9132	964.4811851	978105.0181	-297.5424	175.43749	107.77065	67.6668444	0.23229134	67.89913574
	-4700	977980.0756	976.513134	978105.0229	-301.2543	176.30702	109.11509	67.19192652	0.38459958	67.57652609
	-4750	977982.5519	964.5323033	978105.0289	-297.5582	175.08118	107.77636	67.30481949	0.25154448	67.55636397
	-4800	977979.0921	979.5866164	978105.0367	-302.2025	176.25787	109.45852	66.79934933	0.30938235	67.10873168
	-4850	977980.5276	977.6249551	978105.0381	-301.5973	177.08684	109.23932	67.84752035	0.2705578	68.11807815
	-4900	977980.9015	981.653709	978105.052	-302.8402	178.68967	109.68949	69.00017855	0.23229134	69.23246989
	-4950	977980.1863	987.6760733	978105.0555	-304.6981	179.82886	110.36243	69.46643148	0.32691138	69.79334286

CPK-1375	-4950	977952.9649	1076.90291	978105.1457	-332.2245	180.04374	120.33259	59.7111508	0.19459843	59.90574922
	-4900	977958.5052	1049.928469	978105.139	-323.9029	177.2692	117.31848	59.95072253	0.1230231	60.07374563
	-4850	977956.4249	1051.944444	978105.14	-324.5249	175.80984	117.54375	58.26608969	0.34764881	58.6137385
	base	977969.93	984.056265	978105.032	-303.5814	168.47936	109.95796	58.52140179	0.10475192	58.62615371
	BASE	977972.3488	984.056265	978105.0324	-303.5814	170.8977	109.95796	60.93974193	0.10475192	61.04449385
CPK-1375	-4400	977972.4237	1014.127034	978105.0798	-312.8582	180.20215	113.31805	66.8840985	0.17632725	67.06042575
	-4450	977969.93	1026.19165	978105.0885	-316.5801	181.42157	114.66614	66.75542335	0.23229134	66.98771469
	-4500	977969.6461	1029.237803	978105.0938	-317.5199	182.07217	115.00652	67.06565648	0.25171307	67.31736955
	-4550	977968.9853	1033.283957	978105.0991	-318.7681	182.65434	115.45863	67.19570948	0.13635215	67.33206162
	-4600	977968.8245	1036.339342	978105.1052	-319.7107	183.42994	115.80004	67.6298992	0.25228662	67.88218583
	-4650	977970.0797	1033.385496	978105.1083	-318.7994	183.77081	115.46998	68.3008318	0.2705578	68.5713896
	-4700	977969.5118	1039.43165	978105.1171	-320.6647	185.0594	116.14557	68.91383187	0.19344787	69.10727974
	-4750	977970.079	1040.477803	978105.1236	-320.9874	185.94276	116.26247	69.68029221	0.27111588	69.95140809
	-4800	977977.6683	1016.570111	978105.1263	-313.6119	186.1539	113.59104	72.56286261	0.28997953	72.85284215
HJR-1	27	977986.6789	985.7085726	978105.0718	-304.0911	185.69811	110.14258	75.55552959	0.25169415	75.80722374
	28	977985.6075	993.893188	978105.077	-306.616	187.14663	111.05713	76.08949841	0.25169415	76.34119256
	29	977984.9758	996.9670342	978105.0842	-307.5643	187.45598	111.4006	76.05537735	0.23229134	76.28766869
	30	977985.581	1006.28088	978105.0917	-310.4377	190.92695	112.44132	78.48562808	0.28997953	78.77560761
	31	977986.0211	1005.327034	978105.0978	-310.1434	191.06673	112.33474	78.7319854	0.25172854	78.98371394
	32	977977.9254	1041.410111	978105.1063	-321.275	194.09415	116.36665	77.72749992	0.15577388	77.8832738

	33	977977.1626	1044.465496	978105.1128	-322.2176	194.2675	116.70805	77.55945111	0.19346679	77.75291791
	34	977974.939	1054.548573	978105.1238	-325.3282	195.14336	117.83473	77.30863069	0.19459843	77.50322912
	35	977978.0121	1042.585496	978105.1303	-321.6376	194.51946	116.49798	78.02147309	0.21286961	78.2343427
	36	977979.9803	1036.64088	978105.1362	-319.8037	194.64779	115.83373	78.81405527	0.09980979	78.91386506
	37	977977.9135	1044.705496	978105.144	-322.2916	195.06116	116.73487	78.32628785	0.15577388	78.48206173
	38	977979.9807	1037.75165	978105.1529	-320.1464	194.97419	115.95785	79.01633969	0.23286489	79.24920458
	39	977979.6348	1039.788573	978105.157	-320.7748	195.25261	116.18546	79.06715122	0.2705578	79.33770902
	40	977975.9331	1054.862419	978105.166	-325.4251	196.19216	117.8698	78.32236491	0.32878516	78.65115008
	base	977995.0738	984.056265	978105.0314	-303.5814	193.62376	109.95796	83.66580824	0.10475192	83.77056016
	BASE	977969.93	984.056265	978105.0321	-303.5814	168.47918	109.95796	58.52122322	0.10475192	58.62597514
HJR-1	26	977971.9747	978.9163158	978105.0656	-301.9957	168.90478	109.38362	59.52116028	0.25169415	59.77285443
	25	977970.7829	983.7916339	978105.0605	-303.4997	169.22219	109.92839	59.29380583	0.23229134	59.52609717
	24	977973.7352	971.5957052	978105.0556	-299.7373	168.41694	108.56562	59.85131843	0.25169415	60.10301258
	23	977981.1218	942.2750945	978105.0408	-290.6919	166.7728	105.28935	61.48344758	0.25169415	61.73514173
	22	977986.346	918.1147891	978105.0352	-283.2384	164.54919	102.58969	61.95950112	0.26981566	62.22931678
	21	977980.9761	949.4201326	978105.0268	-292.8961	168.84543	106.08773	62.75769998	0.328246	63.08594598
	20	977980.4573	948.3132624	978105.0229	-292.5546	167.989	105.96405	62.02494839	0.2705578	62.29550619
	19	977984.4885	931.1707688	978105.0159	-287.2662	166.73879	104.04856	62.6902298	0.328246	63.0184758
	18	977977.0893	968.6364176	978105.007	-298.8243	170.90671	108.23495	62.6717565	0.4026867	63.0744432
	17	977980.0347	954.3870538	978104.9974	-294.4284	169.46575	106.64273	62.82301766	0.2705578	63.09357546
	16	977971.5872	988.0842548	978104.9949	-304.824	171.41625	110.40804	61.00821145	0.38459958	61.39281103
	15	977965.9194	1013.923949	978104.987	-312.7955	173.72802	113.29536	60.43266846	0.36442023	60.79708869

	14	977967.4413	1018.353975	978104.9778	-314.1622	176.62575	113.79036	62.8353816	0.25169415	63.08707575
	13	977967.8312	1020.784	978104.9729	-314.9119	177.77018	114.06189	63.7082893	0.34633312	64.05462241
	12	977963.7084	1023.659318	978104.969	-315.7989	174.53834	114.38318	60.15516113	0.36651246	60.52167359
	11	977960.2766	1043.552448	978104.9654	-321.9359	177.24717	116.60603	60.64114053	0.40102937	61.0421699
	10	977956.7017	1057.481201	978104.9579	-326.233	177.97674	118.16242	59.81431774	0.30938235	60.12370008
	9	977953.1179	1071.392143	978104.9471	-330.5245	178.69523	119.71682	58.9784088	0.4026867	59.3810955
	8	977949.71	1084.320896	978104.9397	-334.513	179.2833	121.16147	58.12182458	0.43875667	58.56058125
	7	977947.5981	1090.231837	978104.9352	-336.3365	178.99943	121.82196	57.17746568	0.36519676	57.54266244
	6	977945.0252	1102.160591	978104.9283	-340.0165	180.11346	123.15487	56.95858503	0.3441177	57.30270273
	5	977943.1193	1111.089344	978104.9199	-342.7711	180.97054	124.15257	56.81796897	0.34280201	57.16077098
	4	977942.5728	1116.822168	978104.9146	-344.5396	182.19777	124.79315	57.40461614	0.2705578	57.67517395
	3	977943.1769	1120.750921	978104.9068	-345.7517	184.02175	125.23215	58.78960208	0.2705578	59.06015988
	2	977942.088	1124.679675	978104.8942	-346.9637	184.15749	125.67114	58.48634503	0.25113607	58.7374811
	1	977939.7591	1132.608428	978104.8867	-349.4097	184.28206	126.5571	57.72495562	0.32746947	58.05242509
	base	977969.93	984.056265	978105.0323	-303.5814	168.47906	109.95796	58.52110417	0.10475192	58.62585609
	base	977974.4566	984.056265	978105.032	-303.5814	173.00592	109.95796	63.04796816	0.10475192	63.15272008
CPk-1925	4350	977965.394	1027.802489	978105.0802	-317.0771	177.3909	114.84614	62.54475939	0.27111588	62.81587527
	4300	977965.1347	1028.748108	978105.0754	-317.3688	177.42812	114.9518	62.47631707	0.38036785	62.85668491
	4250	977971.5003	1007.630283	978105.0689	-310.8539	177.28535	112.5921	64.69324302	0.58714658	65.2803896
	4200	977975.7594	992.5487121	978105.0612	-306.2013	176.89952	110.9069	65.99262603	0.43346812	66.42609415
	4150	977980.2712	976.4943314	978105.0567	-301.2485	176.463	109.11299	67.35001646	0.2705578	67.62057426
	4100	977979.2084	981.403697	978105.053	-302.763	176.91846	109.66156	67.25689971	0.23229134	67.48919105

	4050	977984.238	961.2858722	978105.0462	-296.5567	175.74849	107.4136	68.33488282	0.30938235	68.64426516
	4000	977995.3448	921.1499205	978105.0388	-284.1748	174.48076	102.92883	71.55192882	0.4026867	71.95461551
	-32	977994.4449	941.6967483	978105.032	-290.5134	179.92642	105.22472	74.70169334	0.43618226	75.1378756
	-31	977993.6819	946.6242408	978105.0264	-292.0336	180.68906	105.77532	74.91374317	0.34633312	75.26007629
	-30	977990.7515	962.506416	978105.0222	-296.9332	182.66253	107.54999	75.11254375	0.58714658	75.69969034
	-29	977984.6888	986.4067181	978105.0099	-304.3065	183.98544	110.22059	73.7648444	0.41989302	74.18473742
	-28	977991.2544	961.2888934	978105.0081	-296.5576	182.8039	107.41394	75.38996446	0.23229134	75.6222558
	-27	977992.6553	956.2254492	978105.0019	-294.9956	182.64894	106.84815	75.80078355	0.30750857	76.10829212
	-26	977995.8225	949.8357212	978104.9928	-293.0243	183.85407	106.13417	77.71990132	0.1230231	77.84292442
	-25	977997.3222	944.7904039	978104.9833	-291.4678	183.80666	105.57041	78.23625502	0.19459843	78.43085345
	-24	978000.453	932.7269598	978104.9752	-287.7463	183.22404	104.22244	79.00159406	0.38459958	79.38619364
	-23	978007.8997	905.6725792	978104.9671	-279.4	182.33265	101.1994	81.13324568	0.34413662	81.4773823
	-22	978006.4932	913.5638178	978104.9619	-281.8344	183.3658	102.08116	81.28463299	0.4026867	81.68731968
	base	977990.7871	984.056265	978105.0323	-303.5814	189.33617	109.95796	79.37821209	0.10475192	79.482964
	base	977971.6961	984.056265	978105.0323	-303.5814	170.24511	109.95796	60.28715701	0.10475192	60.39190893
CPK-825	4100	977990.5044	890.4848364	978104.9567	-274.7146	160.26219	99.50233	60.75985738	0.38459958	61.14445696
	4050	977989.7714	902.5352566	978104.9528	-278.4321	163.25076	100.84884	62.40192373	0.42155035	62.82347408
	4000	977988.6944	903.6108868	978104.9479	-278.764	162.51052	100.96903	61.54149401	0.58534871	62.12684272
	3950	977989.3595	899.6697103	978104.94	-277.5481	161.96756	100.52864	61.4389178	0.38294225	61.82186005
HJR-2	-18	977994.0075	876.7285339	978104.9344	-270.4708	159.5439	97.965208	61.5786908	0.28997953	61.86867034
	-17	977993.2966	879.778954	978104.9265	-271.4118	159.7819	98.30606	61.47583778	0.19346679	61.66930457
	-16	977988.5306	894.8797944	978104.9185	-276.0704	159.68249	99.993421	59.68906474	0.42155035	60.11061509

	-15	977980.1258	925.081475	978104.9092	-285.3876	160.60418	103.36814	57.23603495	0.56547139	57.80150634
	-14	977974.4959	944.2327355	978104.9038	-291.2958	160.88785	105.50809	55.37975962	0.52200157	55.90176119
	-13	977973.6549	949.3167692	978104.8965	-292.8642	161.62259	106.07618	55.54640807	0.46876156	56.01516963
	-12	977969.167	964.383996	978104.8899	-297.5125	161.78953	107.75979	54.02974838	0.45684378	54.48659216
	-11	977975.4921	938.6276935	978104.8786	-289.5666	160.18018	104.88179	55.29838631	0.30938235	55.60776865
	-10	977966.5732	975.7705507	978104.8715	-301.0252	162.72692	109.03211	53.69480461	0.41989302	54.11469762
	-9	977968.2513	966.8966011	978104.8644	-298.2876	161.67446	108.04054	53.63392143	0.27111588	53.90503731
	base	977950.8441	984.056265	978105.0316	-303.5814	149.39383	109.95796	39.4358769	0.10475192	39.54062882
	base	977972.3972	984.056265	978105.0323	-303.5814	170.94621	109.95796	60.98825084	0.10475192	61.09300275
CPk-1925	4950	977935.7465	1112.327402	978105.2419	-343.153	173.65764	124.29091	49.366732	0.4850508	49.8517828
	4900	977936.3272	1107.257431	978105.2386	-341.5889	172.67747	123.72439	48.95308184	0.34633312	49.29941495
	4850	977941.0143	1085.099997	978105.234	-334.7533	170.53363	121.24853	49.28510055	0.34633312	49.63143367
	4800	977941.6523	1080.99504	978105.2289	-333.487	169.91043	120.78985	49.12058479	0.28997953	49.41056433
	4750	977938.1611	1092.872591	978105.2228	-337.1512	170.08946	122.11704	47.97242385	0.38459958	48.35702343
	4700	977934.7685	1100.575215	978105.2163	-339.5275	169.0797	122.97772	46.10197167	0.25169415	46.35366582
	4650	977938.1823	1087.452766	978105.2101	-335.4792	168.45135	121.51143	46.9399169	0.30938235	47.24929924
	4600	977942.806	1066.330317	978105.2023	-328.9629	166.56654	119.15122	47.41532727	0.34633312	47.76166038
	4550	977938.7688	1071.403204	978105.1988	-330.5279	164.09783	119.71806	44.37977547	0.38459958	44.76437505
	4500	977942.5738	1051.298247	978105.1934	-324.3255	161.70593	117.47154	44.23438842	0.34764881	44.58203724
	4450	977947.2746	1028.12332	978105.1886	-317.176	159.26204	114.88199	44.38005735	0.2705578	44.65061515
	4400	977943.846	1038.035857	978105.1814	-320.2341	158.89865	115.98961	42.90903907	0.2905187	43.19955777
	4350	977943.4867	1039.913408	978105.176	-320.8133	159.12402	116.1994	42.92461576	0.23229134	43.1569071
	4300	977943.8325	1031.581046	978105.1676	-318.2428	156.90766	115.26835	41.63930721	0.55548436	42.19479157
	4250	977945.1058	1023.651017	978105.1634	-315.7963	155.73871	114.38225	41.35646009	0.65135985	42.00781994
	4200	977948.9662	1009.563554	978105.1567	-311.4504	155.25984	112.80813	42.45171198	0.49033935	42.94205133

	base	977954.7888	984.056265	978105.033	-303.5814	153.33716	109.95796	43.37920948	0.10475192	43.4839614
	base	977975.5591	984.056265	978105.0324	-303.5814	174.10808	109.95796	64.15012118	0.10475192	64.2548731
HJR-2	-8	977988.0681	966.8168283	978104.859	-298.263	181.47205	108.03163	73.44042216	0.34633312	73.78675527
	-7	977984.0598	990.5069692	978104.8524	-305.5714	184.77881	110.67875	74.10005352	0.34633312	74.44638664
CPK-275	3950	977980.89	1039.422462	978104.8461	-320.6618	196.7058	116.14455	80.56125547	0.23229134	80.79354681
	4000	977985.2525	1025.211195	978104.8491	-316.2777	196.6811	114.55659	82.1245177	0.28996062	82.41447832
	4050	977992.8638	993.112603	978104.8576	-306.3752	194.38143	110.96991	83.41151946	0.2705578	83.68207727
	4100	977984.9911	1032.985842	978104.8607	-318.6761	198.80653	115.42532	83.38121257	0.23229134	83.61350391
	4150	977979.1284	1043.873166	978104.8669	-322.0349	196.2963	116.64187	79.65443724	0.32471489	79.97915213
	4200	977989.2198	1001.675983	978104.8747	-309.017	193.36222	111.92677	81.4354451	0.30938235	81.74482745
	4250	977984.3734	1032.436547	978104.8775	-318.5067	198.00258	115.36394	82.6386331	0.36573593	83.00436903
	4300	977980.696	1047.211195	978104.8837	-323.0647	198.87692	117.01486	81.86206043	0.19346679	82.05552722
	4350	977978.1654	1060.028096	978104.8926	-327.0187	200.29151	118.44701	81.84450231	0.328246	82.17274831
	4400	977978.1288	1065.873166	978104.898	-328.8219	202.05262	119.10013	82.95248443	0.30938235	83.26186678
	4450	977971.3607	1104.4788	978104.9029	-340.7317	207.18953	123.41391	83.77562411	0.32691138	84.1025355
	4500	977969.2151	1113.337955	978104.9075	-343.4648	207.77234	124.40383	83.3685167	0.67315486	84.04167156
	4550	977983.0387	1072.675983	978104.9151	-330.9205	209.04411	119.86028	89.18383275	0.25169415	89.43552691
	4600	977983.3111	1077.492885	978104.9222	-332.4066	210.79543	120.39852	90.39691362	0.30938235	90.70629597
	4650	977975.1386	1109.295702	978104.9288	-342.2177	212.42747	123.95215	88.47532571	0.36573593	88.84106164
	4700	977971.4315	1126.91542	978104.9325	-347.6534	214.15239	125.92097	88.23142079	0.41989302	88.6513138

	4750	977982.3888	1089.802744	978104.9383	-336.2041	213.65463	121.77401	91.88061427	0.43875667	92.31937093
	4800	977993.382	1047.690068	978104.9435	-323.2124	211.6509	117.06836	94.58254041	0.36442023	94.94696064
	4850	977998.3163	1028.577392	978104.9498	-317.3161	210.68261	114.93272	95.74988705	0.44802413	96.19791118
	4900	977990.2248	1075.380209	978104.9553	-331.7548	217.02428	120.16245	96.86183575	0.66678297	97.52861871
	4950	977980.6313	1109.154857	978104.9631	-342.1743	217.84251	123.93641	93.90610292	0.72387104	94.62997396
	base	978010.899	984.056265	978105.0323	-303.5814	209.44804	109.95796	99.49008547	0.10475192	99.59483738
	base	977971.2267	984.056265	978105.0327	-303.5814	169.77535	109.95796	59.81739804	0.10475192	59.92214995
CPK-275	3900	977980.7708	1015.469622	978104.8415	-313.2724	189.20165	113.46807	75.73358089	0.11808097	75.85166186
	3850	977984.6722	1000.545435	978104.8374	-308.6683	188.50305	111.80045	76.70259984	0.2705578	76.97315764
	3800	977994.8725	961.6338823	978104.8298	-296.6641	186.70675	107.45249	79.25426118	0.38459958	79.63886076
	3750	978005.1694	923.7728715	978104.8296	-284.9839	185.32378	103.22192	82.101862	0.30938235	82.41124435
	3700	978009.3872	922.0634852	978104.8162	-284.4566	189.02754	103.03091	85.99662613	0.34633312	86.34295924
	3650	978007.0543	933.1772036	978104.8103	-287.8852	190.12918	104.27275	85.85642217	0.38459958	86.24102175
	3600	978012.3665	913.2782866	978104.8065	-281.7464	189.30637	102.04926	87.2571155	0.23229134	87.48940684
	3550	978015.1276	900.392005	978104.802	-277.7709	188.09653	100.60935	87.48717342	0.32691138	87.81408481
	3500	978009.5765	933.5309942	978104.7971	-287.9943	192.77375	104.31229	88.46146455	0.36519676	88.82666131
	3450	978006.3315	944.657348	978104.7903	-291.4268	192.96802	105.55554	87.41247922	0.328246	87.74072522
	3400	978004.1671	958.8468787	978104.7895	-295.8043	195.18184	107.14107	88.04077006	0.38459958	88.42536964
	3350	977996.0752	989.9605971	978104.7762	-305.4028	196.70185	110.6177	86.08414316	0.41989302	86.50403618
	3300	978008.6596	951.5418245	978104.7701	-293.5507	197.44018	106.32481	91.11536741	0.34633312	91.46170052
	3250	978011.844	941.6176368	978104.7665	-290.489	197.56654	105.21588	92.35065212	0.34764881	92.69830093

	3200	978008.2804	956.6934491	978104.7596	-295.1399	198.66078	106.90045	91.76033578	0.34633312	92.10666889
	3150	978010.8384	945.8324382	978104.7547	-291.7893	197.87295	105.68684	92.18610406	0.41989302	92.60599707
	3100	978015.1115	930.9461567	978104.7469	-287.1969	197.56142	104.02346	93.53796623	0.4018059	93.93977213
	3050	978021.4239	907.0219689	978104.7427	-279.8163	196.49744	101.35018	95.14725684	0.23229134	95.37954817
	3000	978019.9772	916.1104166	978104.7371	-282.6201	197.86018	102.36572	95.49445696	0.23229134	95.7267483
	2950	978018.4576	923.1862289	978104.7306	-284.803	198.52995	103.15637	95.37358001	0.15577388	95.52935389
	2900	978016.8331	929.2494058	978104.7238	-286.6734	198.78278	103.83386	94.94891121	0.30938235	95.25829356
	2850	978019.8787	918.2999473	978104.7172	-283.2955	198.45707	102.61038	95.84668854	0.38459958	96.23128812
	2800	978020.4427	916.4263011	978104.7086	-282.7175	198.45161	102.40102	96.05059477	0.49033935	96.54093412
	2750	978024.0691	900.5021133	978104.7079	-277.8049	197.16618	100.62166	96.54452361	0.38459958	96.92912319
	base	978011.586	984.056265	978105.0327	-303.5814	210.13468	109.95796	100.176727	0.10475192	100.2814789
	base	977976.7949	984.056265	978105.0325	-303.5814	175.34375	109.95796	65.38579089	0.10475192	65.49054281
CPk-1925	-19	977990.2541	895.8069575	978104.9403	-276.3564	161.67024	100.09702	61.57321861	0.30938235	61.88260096
	-18	977984.1675	917.7847968	978104.9427	-283.1366	162.36142	102.55281	59.80860831	0.34633312	60.15494143
	-17	977981.2815	922.7487857	978104.9461	-284.668	161.00344	103.10749	57.89595703	0.2705578	58.16651483
	3900	977987.9176	888.7155447	978104.9364	-274.1687	157.14998	99.304631	57.8453535	0.41989302	58.26524652
	3850	977991.7354	871.6684533	978104.9309	-268.9097	155.71421	97.399797	58.314413	0.27111588	58.58552889
	3800	977994.1735	858.6352123	978104.9258	-264.889	154.13661	95.943469	58.19313961	0.30938235	58.50252196
	3750	977992.1147	857.4967082	978104.9183	-264.5377	151.73412	95.816253	55.91786184	0.30938235	56.22724419
	3700	977993.5743	848.4828578	978104.9085	-261.757	150.42278	94.80905	55.61372954	0.21346208	55.82719161
	3650	977990.6065	861.4523868	978104.8996	-265.7581	151.46491	96.258259	55.20665468	0.17519561	55.3818503
	3600	977985.3008	875.4274561	978104.8983	-270.0694	150.47191	97.819826	52.65208739	0.42776737	53.07985476
	base	977942.1347	984.056265	978105.0327	-303.5814	140.68342	109.95796	30.72546947	0.10475192	30.83022138

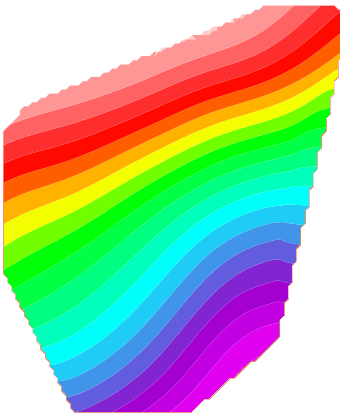
LAMPIRAN B
Hasil Kontiuasi ke Atas



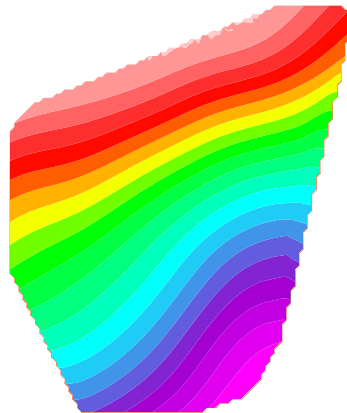
Gambar B.1 Hasil kontinuasi ke atas dengan ketinggian 200 m



Gambar B.2 Hasil kontinuasi ke atas dengan ketinggian 250 m

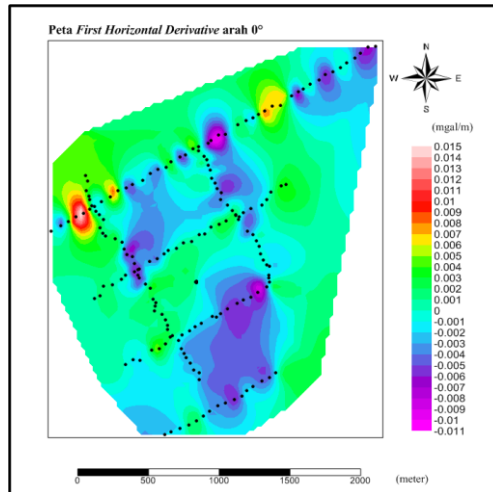


Gambar B.3 Hasil kontinuasi ke atas dengan ketinggian 300 m

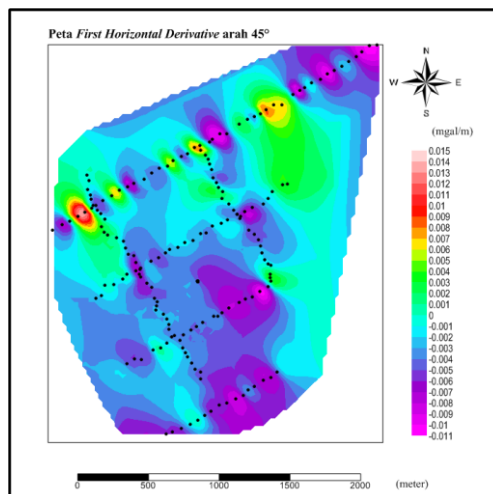


Gambar B.4 Hasil kontinuasi ke atas dengan ketinggian 350 m

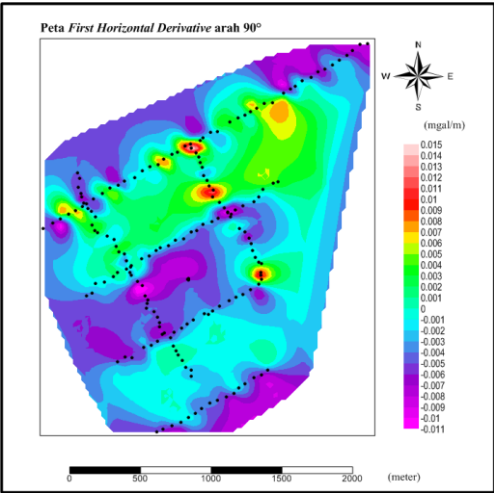
LAMPIRAN C Peta *FHD* arah 0° , 45° , 90° , 135°



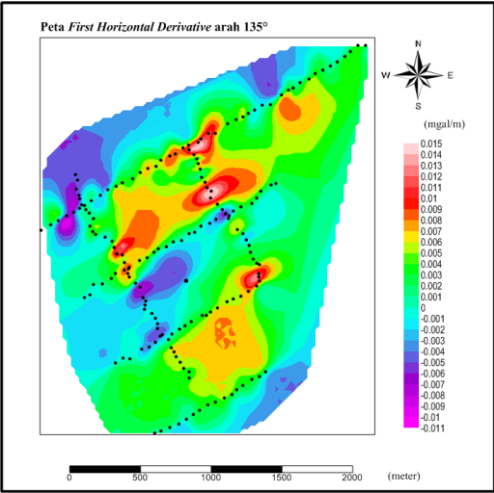
Gambar C.1 Peta *First Horizontal Derivative* arah 0°



Gambar C.2 Peta *First Horizontal Derivative* arah 45°



Gambar C.3 Peta *First Horizontal Derivative* arah 90°



Gambar C.4 Peta *First Horizontal Derivative* arah 135°